

TEKNILLINEN KORKEAKOULU  
TIEKOKEMÄKÄSITTELYOPIN  
KÄSIRIÄSTO  
128

# SÄRMÄYKSEN AUTOMATISOINNISTA SAHALAITOKSESSA

DIPLOMITYÖ

Teknillinen Korkeakoulu  
Teknillisen Fysiikan Osasto

Pekka Hoikkala

Työ on tehty vs. prof. Syrjäsen johdolla



## ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty vs. professori Markku Syrjäsen johdolla. Haluan esittää hänelle parhaat kiitokseni mielenkiinnosta työtäni kohtaan sekä niistä ohjeista ja ehdotuksista, joita olen työn eri vaiheissa saanut.

Työ kuuluu osana Insinööritoimisto Innotec Oy:ssä toteutettuun sahalaistoksen automatisointiprojektiin. Kiitän projektissa mukana olleita hyvästä yhteistyöstä, erityisesti haluan mainita DI Antti Kuisman sekä ins. Arvo Mustosen.

Lopuksi kiitän Elli Bomania hyvin suoritetusta puhtaaksikirjoitustyöstä.

Espoossa 1978-04-21

*Pekka Hoikkala*



# SISÄLLYSLUETTELO

sivu

## 0. JOHDANTO

1.	SAHALAITOKSEN TOIMINTA	1
1.1	Yleistä	1
1.2	Sahatavaran valmistuksen osaprosessit	2
1.2.1	Kuorinta	3
1.2.2	Tukkilajittelu	3
1.2.3	Sahaus	3
1.2.4	Dimensiolajittelu	3
1.2.5	Rimoitus	4
1.2.6	Kuivaus	4
1.2.7	Laatulajittelu	4
1.2.8	Pituuslajittelu	5
1.2.9	Paketointi	5
1.3	Sahaus	
1.3.1	Sahauksen yleispiirteet	5
1.3.2	Esisahaus	6
1.3.3	Jakosahaus	7
1.3.4	Särmäys	8
1.3.5	Sahakoneista	9
1.3.6	Sahalinjan organisointimahdollisuuksia	11
2.	SÄRMÄTTÄVIEN LAUTA-AIHIIDEN OMINAISUUDET JA LUOKITTELU	14
2.1	Yleistä	14
2.2	Lauta-aihioiden ominaisuuksien tarkastelua	15
2.2.1	Geometristen ominaisuuksien perusteella tapahtuva lajittelu	15
2.2.2	Virheellisen särmäyksen vaikutus saantoon eri lautatyypeillä	18
2.3	Lautojen lajitteluohjeet ja laaturyhmät	22
2.3.1	Yleistä	22
2.3.2	Vikojen ryhmittely	23
2.3.3	Käytössä olevat laatuluokat	25
3.	SÄRMÄYS JA SEN AUTOMATISOINTI	27
3.1	Särmäyksen yleiskuvaus	27
3.2	Menetykset manuaalisärmäyksessä	28



3.2.1	Menetysten syyt	28
3.2.2	Menetysten suuruus	29
3.3	Perusteluja särmäyksen automatisoinnille	31
4.	JOITAKIN TOTEUTETTUJA SÄRMÄYSAUTOMAATTEJA	34
4.1	A. Ahlström Oy	34
4.1.1	Historiaa	34
4.1.2	Tavoitteiden asettelu	35
4.1.3	Toteutus	36
4.1.4	Tulokset	42
4.1.5	Tulevaisuus	44
4.2	SAAB-tement AB	44
4.2.1	Historiaa	44
4.2.2	Tavoitteiden asettelu	45
4.2.3	Toteutus	45
4.2.4	Tulokset	50
4.2.5	Tulevaisuus	52
4.3	Yhteenveto	53
5.	AUTOMAATTISEN SÄRMÄYKSEN TIETOJENKÄSITTELYSTÄ	55
5.1	Särmäyksen optimointi	55
5.2	Muu automaattisärmäykseen liittyvä tietojenkäsittely	58
6.	TIETOKONEOHJATUN SÄRMÄYSSYSTEEMIN SUUNNITTELU	60
6.1	Särmäyssystemin yleiskuvaus	60
6.2	Tietojenkäsittelyjärjestelmän yleiskuvaus	65
6.2.1	Särmäyssystemin ohjausjärjestelmä	65
6.2.2	Syöttö- ja tulostustiedot	68
6.2.3	Särmäyksen optimointitavoitteet	72
6.3	Särmäyksen optimointi	74
6.3.1	Mittaus	74
6.3.2	Laskenta	74
6.3.3	Särmäyksen ohjaus	78
6.4	Särmäysprosessin kokonaisohjaus	79
6.4.1	Yleiskuvaus	79
6.4.2	Ohjaustavat	82
6.4.3	Särmäyksen seurantajärjestelmä	83



6.5	Tietoliikenne hajautetussa särmäyksen ohjausjärjestelmässä	84
6.5.1	Erilaisia liikennöintitapoja	84
6.5.2	Tiedonsiirron toteutusmuodot	89
6.6	Särmäyssysteemin toiminnan varmistamisesta	94
7.	TIIVISTELMÄ	99
8.	LÄHDELUETTELO	101



## JOHDANTO

Sahateollisuuden automatisointiaste on nykyisin alhaisempi kuin useiden muiden teollisuuden haarojen. Automaattista tietojenkäsittelyä on toistaiseksi sovellettu lähinnä erilaisiin tuotannon suunnittelutehtäviin. Viime aikoina on tietokoneiden käyttö kuitenkin alkanut yleistyä myös sahalaitosten prosessinohjaustehtävissä.

Tässä työssä käsitellään sahatavaran valmistuksen erään osaprosessin, särmäyksen automatisointia. Särmäyksen automaatioaste on viime vuosiin asti ollut varsin alhainen. Ensimmäiset särmäysautomaatit ovat kuitenkin osoittaneet toimivuutensa sahalaitoksissa ja vastanneet niille asetettuja odotuksia. Automatisoinnilla voidaan parantaa särmäystulosta ja nostaa kapasiteettia. Särmääjä voi siirtyä prosessin suorittajasta sen tarkkailijaksi. Työskentelyolosuhteet paranevat. Särmäyksen automatisointia tutkitaan jatkuvasti ja särmäysautomaattien voidaan odottaa yleistyvän ainakin keskisuurilla ja suurilla sahalaitoksilla.

Diplomityö jakautuu kahteen osaan. Yleisessä osassa tarkastellaan sahalaitoksen toimintaa sekä sahatavaran ominaisuuksia ja luokittelua. Särmäystä ja sen automatisointia esitetään lähinnä kahden toteutetun särmäysautomaatin avulla.

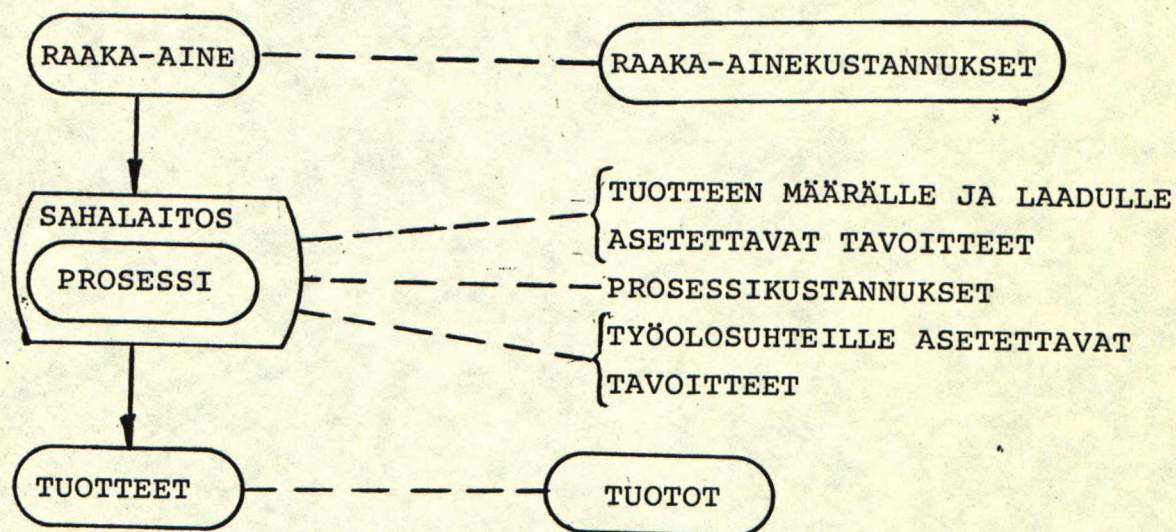
Soveltavassa osassa esitetään suunnitelma automaattisen särmäyssysteemin ohjaus- ja optimointijärjestelmästä.



# 1. SAHALAITOKSEN TOIMINTA

## 1.1 Yleistä

Sahalaitoksen toimintaa voidaan yleisesti kuvata seuraavalla kaaviolla /9/:



Kuva 1. Sahalaitoksen toiminta.

Sahalaitoksen tyyppinen, materiaalia mekaanisesti muokkaava teollisuusprosessi alkaa raaka-aineen, tässä tapauksessa sahatukkien, hankkimisella. Tästä aiheutuvat tietyn suuruiset raaka-ainekustannukset, jotka sahalaitoksessa ovat huomattavan suuret, keskimäärin noin 70 % kaikista muuttuvista kustannuksista. Raaka-aine kulkee tämän jälkeen varsinaisen prosessin läpi, jonka kuluessa siitä tehdään halutun tyyppistä sahatavaraa. Lisäksi saadaan purua sekä mahdollisesti haketta. Näin syntyy prosessikustannuksia, jotka koostuvat toisaalta prosessiin osallistuvien työntekijöiden palkkakustannuksista ja toisaalta prosessia käynnissä pitävien koneiden energia-, huolto-, kulumis- yms. kustannuksista.

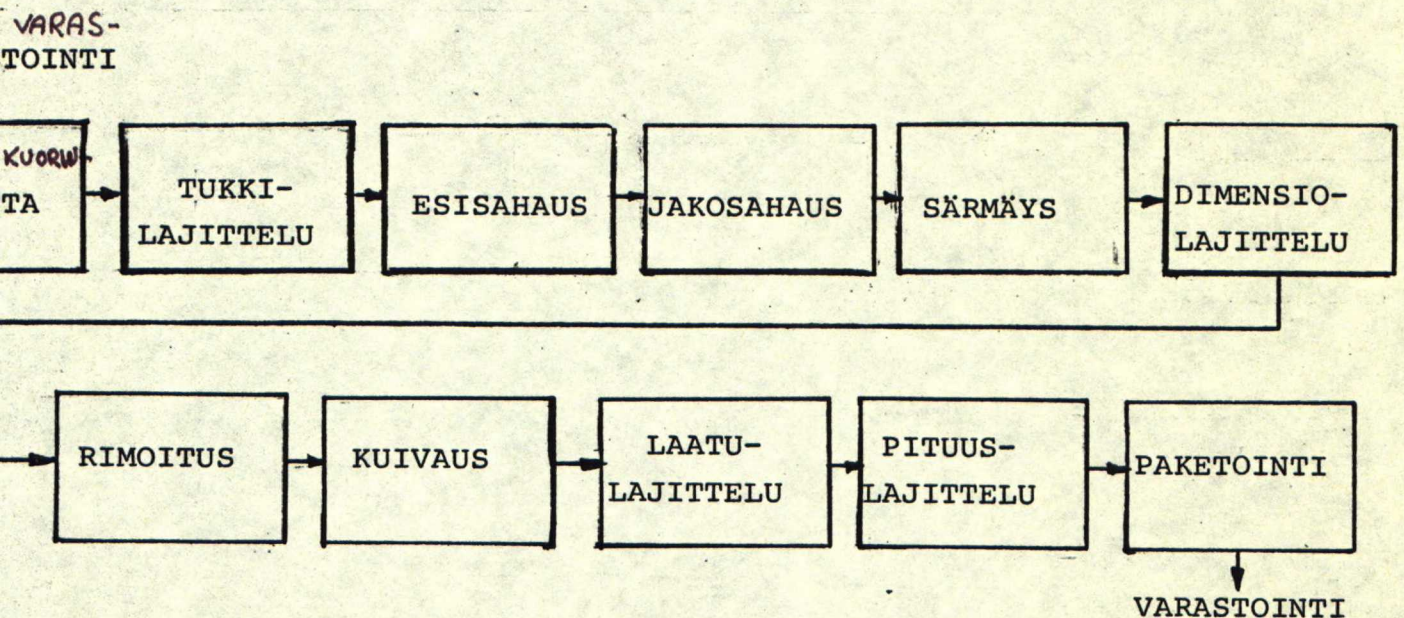


Prosessille asetetaan tietyt tavoitteet ja vaatimukset tuotteiden laadun ja määrän sekä toisaalta työolosuhteiden, kuten työn ergonomian ja vaihtelevuuden suhteen.

Prosessista syntyy tuotteita, joiden myynnistä saatavilla tuotoilla katetaan koko laitoksen toiminnasta aiheutuvat kiinteät ja muuttuvat kustannukset.

## 1.2 Sahatavaran valmistuksen osaprosessit

Sahatavaran valmistus jakautuu useaan peräkkäiseen tuotantovaiheeseen, joita tässä yhteydessä kutsutaan osaprosesseiksi. Kuvassa 2 on esitetty sahalaitoksen tyypilliset osaprosessit kaavamaisesti /9/.



Kuva 2. Sahalaitoksen toiminnan osaprosessit.



Seuraavassa esitetään kunkin osaprosessin pääpiirteet, kuitenkin siten, että varsinainen sahaus (vaiheet 3-5) ja etenkin särmäys esitellään tarkemmin omana kokonaisuutenaan.

#### 1.2.1 Kuorinta

Kuorinnan yhteydessä tukista poistetaan uloin, sahauksen kannalta arvoton kuorikerros. Samalla voidaan tukki sorvata haluttaessa määräpaksuuteen, mikä saattaa olla tarpeellista liiallisen tyvileventymän poistamiseksi. Tukit, joissa tyvileventymää ei poisteta, saattavat joissakin tapauksissa tukkia kuljetinradan juututtuaan johonkin kohtaan sahauslinjalla.

#### 1.2.2 Tukkilajittelu

Kuorinnan jälkeen tukit lajitellaan eri luokkiin puulaji-, laatu- ja latvaläpimittakohtaisesti. Kustakin lajitellusta tukista mitataan yleensä tilavuus ja pituus, jotka talletetaan sahan tarkkailua, tuotannon suunnittelua ja -ohjausta varten. Tukkilajittelun yhteydessä tai välittömästi sen jälkeen ennen sahauksen alkua tukit käännetään siten että kunkin tyvipää osoittaa samaan suuntaan.

#### 1.2.3 Sahaus

Sahausvaiheessa tehdään kuorituista ja lajitelluista tukeista halutut dimensiot ja laatuvaatimukset täyttävää sahatavaraa. Sahausprosessi esitetään omana kokonaisuutenaan kohdassa 1.3.

#### 1.2.4 Dimensiolajittelu

Sahauksen jälkeen on tukeista syntynyt toisaalta myytäväksi kelpaavaa lauta- ja parrutavaraa sekä toisaalta



purua ja jäterimoja, jotka useimmiten haketaan joko välittömästi sahauksen yhteydessä tai erillisessä haketusosastossa. Varsinainen sahatavara jatkaa matkaansa dimensiolajitteluun, missä se lajitellaan dimensioiden (leveys x paksuus), laadun sekä puulajin mukaan omiin lokeroihinsa odottamaan jatkokäsittelyä.

#### 1.2.5 Rimoitus

Rimoituksella tarkoitetaan osaprosessia, jossa dimensiolajittelusta tulleet laudat kootaan kuivausta varten paketeiksi, joissa on pystysuunnassa vuorotellen lauta- ja rimakerroksia siten, että sekä laudat että rimat ovat irti toisistaan. Näin varmistetaan kuivausilman riittävä kierto paketin sisällä.

Rimat ajetaan kuivauksen jälkeen uudestaan rimoitus-koneelle, ts. samoja rimoja käytetään useiden pakettien rimoituksessa.

#### 1.2.6 Kuivaus

Kuivaus on sahatavaran valmistuksen pitkäaikaisin osaprosessi. Rimoitettu puutavarapaketti siirretään rimoittamosta kuivaamoon, jossa sen annetaan olla, kunnes haluttu kuivumisaste on saavutettu.

#### 1.2.7 Laatulajittelu

Kuivauksen jälkeen paketista puretaan rimat ja lauta-tavara viedään tasaamoon, missä se tuodaan kuljettimella laatuarvostelijan nähtäväksi. Arvostelija määrittelee puutavaran laadun lauta kerrallaan ja ohjaa sen sahan automaatioasteesta riippuen eri tavoin omaan lokeroonsa. Ennen lokeroon ajoa tapahtuu kuitenkin vielä pituuslajittelu.



### 1.2.8 Pituuslajittelu

Laatuarvostelijan määrättyä laudan laadun määrätään sille katkaisukohdat, jotka määräytyvät tyvipäässä laudassa olevan tyvilahon tai -halkeaman sekä latvapäässä useimmiten alkavan vajaasärmän perusteella. Lisäksi käytetään yleensä 30 cm:n modulointia, jolloin ensin katkaistaan tyvi halutusta kohdasta ja sen jälkeen latva kohdasta, jonka määrää halutusta katkaisukohdasta tyveen päin seuraavana oleva modulin raja. Katkaistut laudat lajitellaan pituuden mukaan.

### 1.2.9 Paketointi

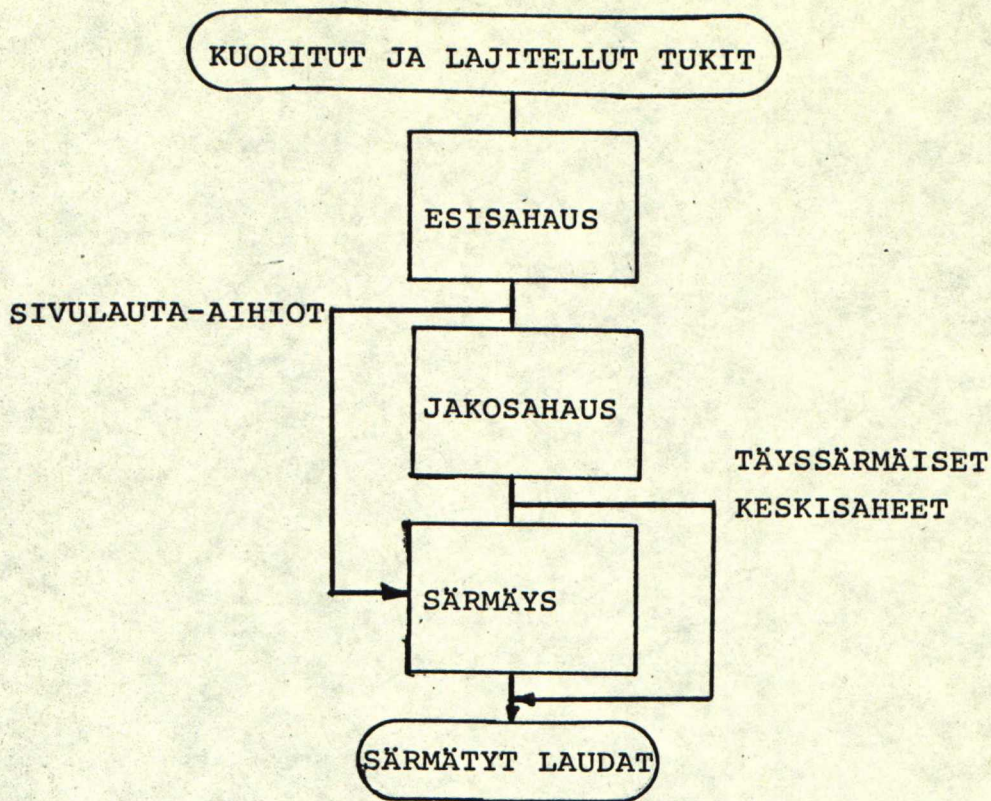
Viimeinen sahatavaran valmistuksen osaprosessi ennen varastointia on paketointi. Dimensio-, laatu- ja pituuslajitellusta sahatavarasta muodostetaan tiivis rimoittamaton paketti, joka vanteistetaan sen koossapysymisen varmistamiseksi ja mahdollisesti peitetään muovi- tms. suojalla, jos varastointi tulee tapahtumaan ulkotiloissa.

## 1.3 Sahaus

### 1.3.1 Sahauksen yleispiirteet

Sahauksessa tarkoitetaan tässä yhteydessä seuraavan kaavion mukaisesti etenevää prosessia:



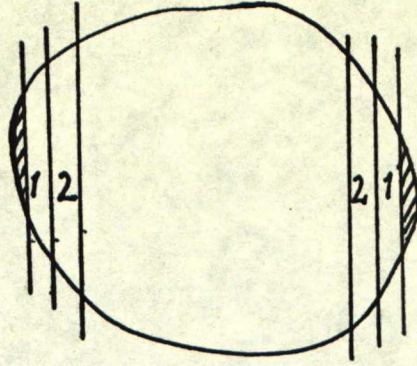


Kuva 3. Sahausprosessi.

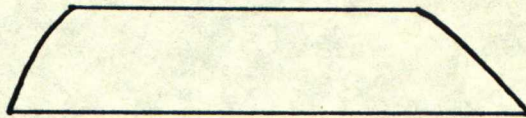
### 1.3.2 Esisahaus

Esisahaus tarkoittaa tuotantoprosessin vaihetta, jossa tukista sahataan yhdensuuntaisilla, yleensä vertikaalisilla sahoilla tietty määrä ns. sivulauta-aihioita, joista myöhemmin särmäyksen yhteydessä tehdään joko vajaasärmäisiä tai vajaasärmättömiä lautoja. Ennen esisahausta käännetään käyrät tukit siten, että tukin keskiosa on koholla, jolloin kaikki käyrät lauta-aihiot saadaan esisahausvaiheessa ja jakosahauksen laudoista tulee symmetrisiä. Tähän seikkaan palataan tarkemmin luvussa 2.2.





Kuva 4. Esisahaus, kun halutaan kaksi sivulautaparia.



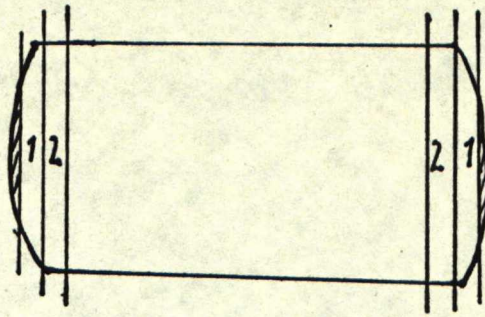
Kuva 5. Esisahauksesta tulleen aihion tyypillinen poikkileikkaus. Aihion syrjissä ei ole lainkaan sahan koskettamaa pintaa.

Esisahauksen tuloksena saadaan sivulauta-aihiot, jotka menevät särmäykseen, sekä ns. pelkka, joka käännetään  $90^{\circ}$  pituusakselinsa ympäri ja viedään jakosahaukseen.

### 1.3.3 Jakosahaus

Esisahauksen jälkeen on tukista jäljellä pelkka, joka sahataan normaalisti seuraavan kuvan osoittamalla tavalla.





Kuva 6. Pelkan jakosahaus, kun tehdään kaksi sivulautaparia.



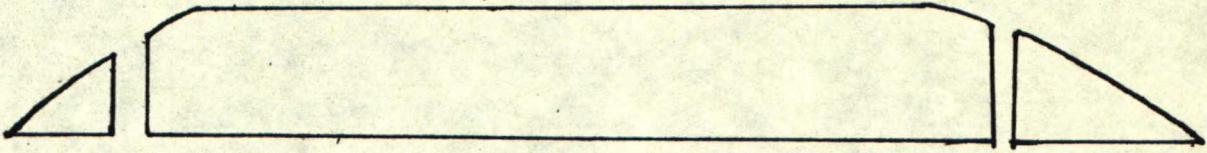
Kuva 7. Jakosahasta tulleen sivulaudan tyypillinen poikkileikkaus. Aihion syrjissä on vain osin vajaasärmää. Vajaasärmä saattaa 2. sivulaudoista puuttua kokonaan.

Jakosahasta saatavien lautojen syrjissä on yleensä aina esisahauksessa syntynyttä sahan koskettamaa pintaa. Särmäys ei tämän vuoksi ole aina välttämätöntä, kuten esisahauksessa syntyneillä aihioilla. Kuitenkin useimmiten halutaan jättää lautaan pienempi vajaasärmä kuin suoraan jakosahasta tulleeella sivulaudalla ja myös nämä laudat särmätään.

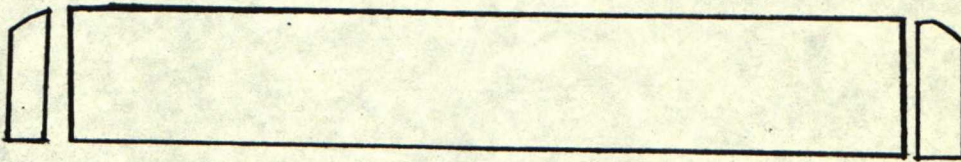
#### 1.3.4 Särmäys

Särmäyksessä sivulauta-aihioista poistetaan vajaasärmä joko osittain tai kokonaan. Lisäksi voidaan koko sahatavaran valmistusprosessista poistaa särmäyskelvottomat tai muuten vialliset ahiot.





Kuva 8. Esimerkki esisahauksesta tulleen lauta-  
aihion särmäyksestä.



Kuva 9. Esimerkki jakosahasta tuleen lauta-  
aihion särmäyksestä.

Yllä on esitetty esimerkin omaisesti kaksi erilaista särmäystapausta. Kuvassa 8 on esisahauksesta tulleen aihioon haluttu jättää hieman vajaasärmää, koska aihio ei täytä oksaisuuden ym. laatuvaatimusten suhteen parhaan laatuluokan vaatimuksia ja siitä saadaan vajaasärmäisenä leveämpi ja metrihinnaltaan arvokkaampi lauta kuin täyssärmäisenä. Kuva 9 esittää päinvastaista tapausta: aihio on hyvälaatuinen ja vajaasärmän poistaminen kokonaan kannattaa.

#### 1.3.5 Sahakoneista

Sahauksessa käytettäviä puuta työstäviä koneita ovat:

- kehäsahat,
- vannesahat,
- pyörösahat,
- pelkkahakkurit,
- särmäyskursot.



Kehäsaha on periaatteessa edestakaisin, yleensä pystysuorasti liikkuva kehikko, johon voidaan kiinnittää haluttu määrä halkaisuteriä. Se puolustaa paikkaansa etenkin silloin, kun leikkausten lukumäärä on suuri suhteessa tukin paksuuteen. Toisaalta asetteiden vaihtoaika on pitkä ja suurien massojen edestakaisen liikkeen aiheuttaman tärinän vaimentaminen vaikeata. Lisäksi saha leikkaa ainoastaan toiseen suuntaan liikkuesssa.

Vannesaha on jatkuva, kahden teräpyörän yli kulkeva teränauha, joka liikkuessaan sahaa puuta tasaisella nopeudella. Tasaisesti liikkuvat massat eivät aiheuta tärinää, mutta terä on kehäsahaa arempi sivuttaisuuntaisille jännityksille. Vannesahat sijoitetaan yleensä pareittain sahauslinjalle, jolloin yksi vannesahapari leikkaa tukista aina symmetrisesti yhden sivulautaparin /14/.

Pyörösaha eli sirkkeli on pienillä sahoilla yleinen jopa tukin halkaisussa, mutta suursahoilla ainoastaan särmäyksessä ja katkaisussa. Terän halkaisijan kasvaessa suurenee siihen kohdistuvan sivuttaisvoiman vaikutus ja toisaalta halkaisijan pienentäminen rajoittaa leikkauspaksuutta, minkä vuoksi pyörösaha ei ole tullut tukin sahauksessa yleiseksi isoilla sahoilla. Pyörösaahan ehdottomana etuna voidaan pitää sen rakenteellista yksinkertaisuutta /21/.

Pelkkahakkuri on laite, joka hakettaa suoraan ne tukin osat, joita ei aiota valmistaa sahatavaraksi. Täten säästetään tukin pinnasta syntyvien, sahatavarana arvottomien osien erilliseltä kuljetukselta hakettamoon ja siellä tapahtuvalta haketukselta.

Pelkkahakkurin käyttö nimenomaan vannesahojen kanssa on nykyisin yleistä. Tällöin pelkkahakkuri poistaa

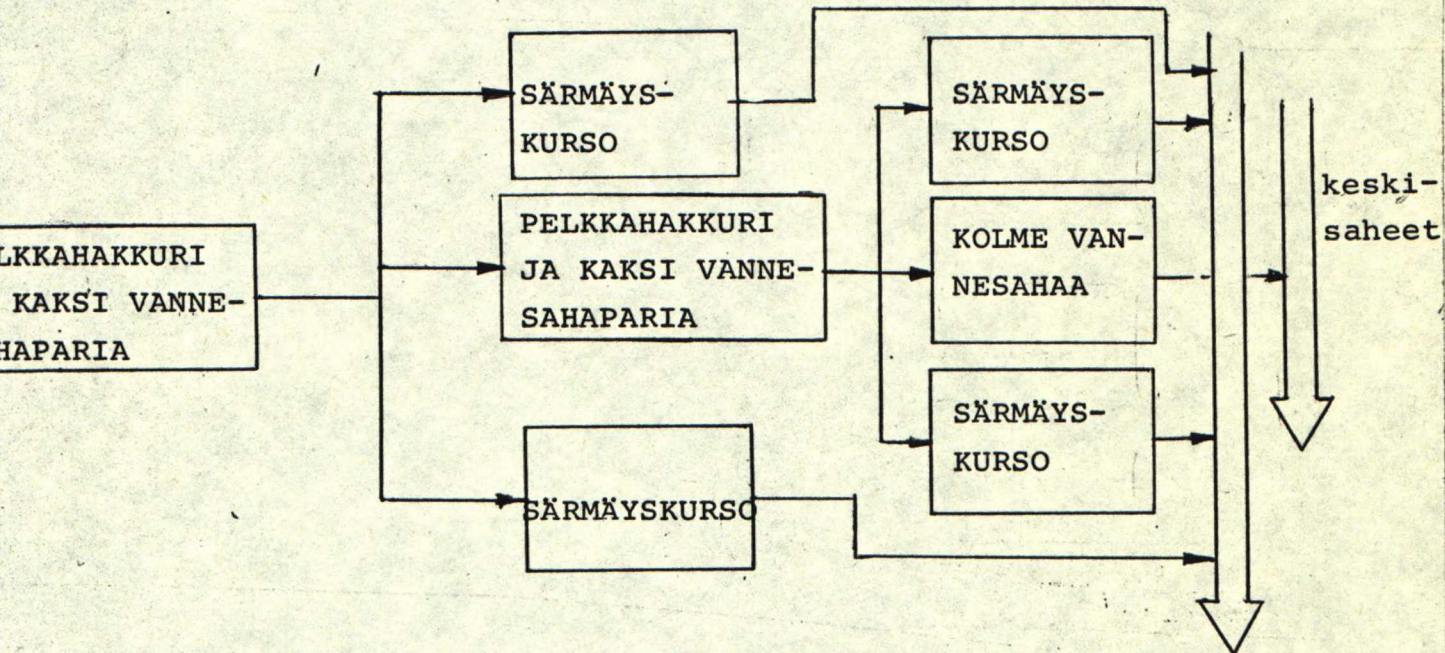






### Kehäsahalinja

Kuva 10 esittää perinteistä kehäsahalinjaa, jossa yhdellä kehäsahalla, jossa on riittävä määrä teriä, selvittää pelkkaus- eli esisahauksesta. Jakosahausta tehdään myös yhdellä kehäsahalla, jolla saadaan pelkan sivulautojen lisäksi sahatuksi myös tukin keskiosa, ns. sydäntavara. Särmäys tapahtuu kahdella erillisellä särmäyssahalla, jotka ovat tavallisia pyörösahapareja.



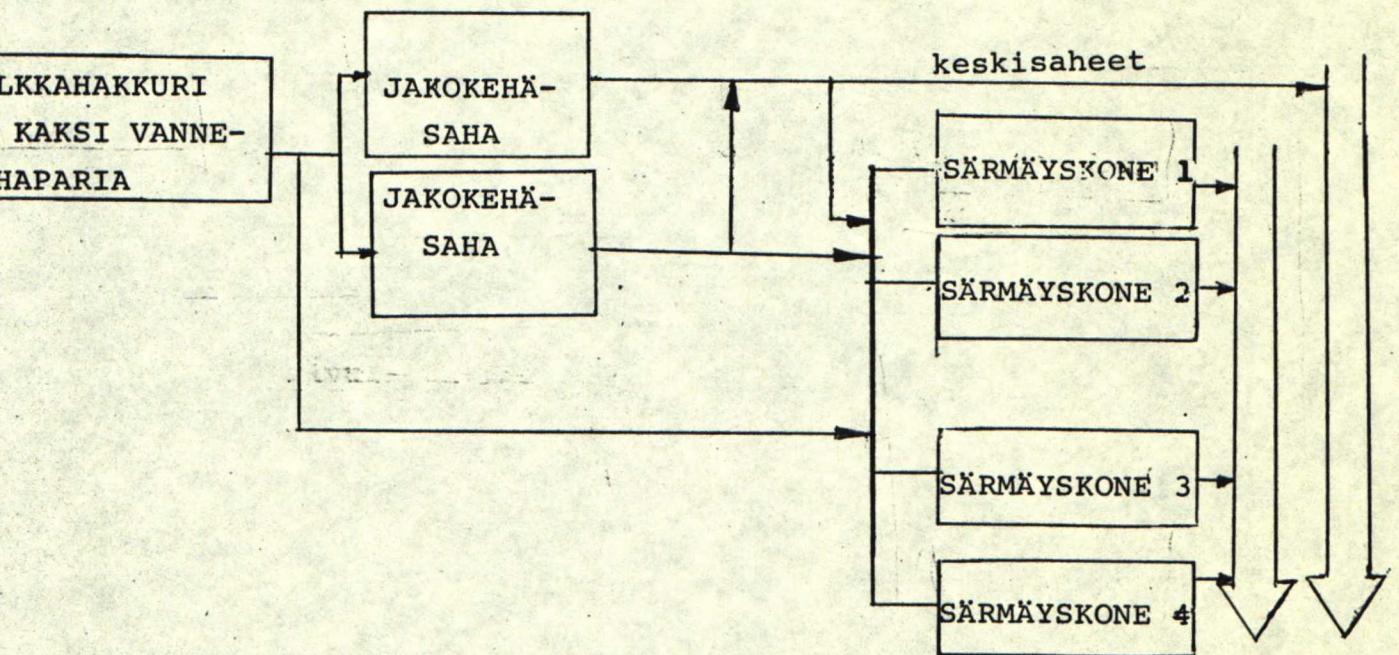
Kuva 11. Vannesahalinja.

Kuvan 11 esittämässä ratkaisussa sahaus tapahtuu vannesahoilla ja se osa tukista, jota ei käytetä sahatavaran valmistukseen haketetaan välittömästi pelkkahakkureilla ja särmäyskursoilla. Vaikka särmäyskoneet on hajasijoitettu, kuljetetaan kaikki särmäyksestä tullut tavara samalla kuljettimella eteenpäin. Sydäntavarasta sahattava järeämpi aines viedään sen sijaan omalla kuljettimellaan. Kuvan 11 tapauksessa sydäntavara halkaistaan kolmeen osaan, mutta vannesahojen määrä voi vaihdella sahattavan tukkierän ominaisuuksista riippuen.



### Yhdistetty\_kehä-\_ja\_vannesahalinja\_pelkka\_hakkurilla

Lopuksi esitetään sahalinjaratkaisu, jossa on yhdistetty edellä esitettyjen ratkaisujen sahaustavat ja lisäksi keskitetty särmäys yhdelle särmäysasemalle, jonka neljä särmäyskonetta särmäävät kaikki linjalla syntyvät sivulauta-aihiot.



Kuva 12. Yhdistetty sahalinja.

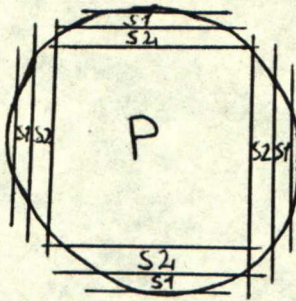
Särmäysasemiin on siirrytty viime aikoina etenkin joillakin Suomen ja Ruotsin suurilla sahoilla. Särmäyskoneet on sijoitettu saman poikittaiskuljettimen ääreen ja aseman kapasiteetti määräytyy useimmiten juuri ko. kuljettimen kapasiteetista. Perinteisen hajasijoitetun ja tämän keskitetyn ratkaisun edullisuus riippuu kunkin sahalaitoksen tilaratkaisuista ja sahan suuruudesta eikä mitään ehdotonta paremmuusjärjestystä voida niiden välillä määritellä.



## 2. SÄRMÄTTÄVIEN LAUTA-AIHIOIDEN OMINAISUUDET JA LUOKITTELU

### 2.1 Yleistä

Kuten jo sahausprosessin kuvauksen yhteydessä todettiin, tapahtuu tukin sahaus yleensä kuvan 13 osoittamalla tavalla /10/:



Kuva 13. Tukin sahaus päästä katsottuna.

Kuvassa on käytetty seuraavia merkintöjä:

S1: ensimmäiset sivulaudat, jotka yleensä särmäyksen jälkeenkin ovat vajaasärmäisiä.

S2: toiset sivulaudat, joista on usein mahdollista tehdä täyssärmäisiä. Jos kyseessä on pieni tukki, saatetaan toiset sivulaudat jättää ottamatta.

P: pelkka eli tukin keskiosa, joka voidaan jättää yhdeksi parruksi tai halkaista useampaan osaan.

Tässä kuvattu sahaustapa ei ole ainoa mahdollinen, mutta lienee nykyisin yleisimmin käytössä oleva. Esimerkkinä toisenlaisesta sahauksesta voidaan mainita



useilla pienillä sahoilla käytössä oleva tapa sahata koko tukki ensin yhdensuuntaisilla leikkauksilla halutun paksuisiksi vajaasärmäisiksi aihioiksi, jotka sitten särmätään yksi kerrallaan.

Tämän työn yhteydessä oletetaan kuitenkin aina sahauksen tapahtuvan kuten kuvassa 13 on esitetty.

Jokaisesta tukista saadaan sen mukaan neljä tai kahdeksan särmättävää sivulauta-aihiota riippuen siitä, sahataanko tukista yhdet vai kahdet sivulaudat. Sydäntavaran käsittelyä ei tässä työssä tulla tarkastelemaan.

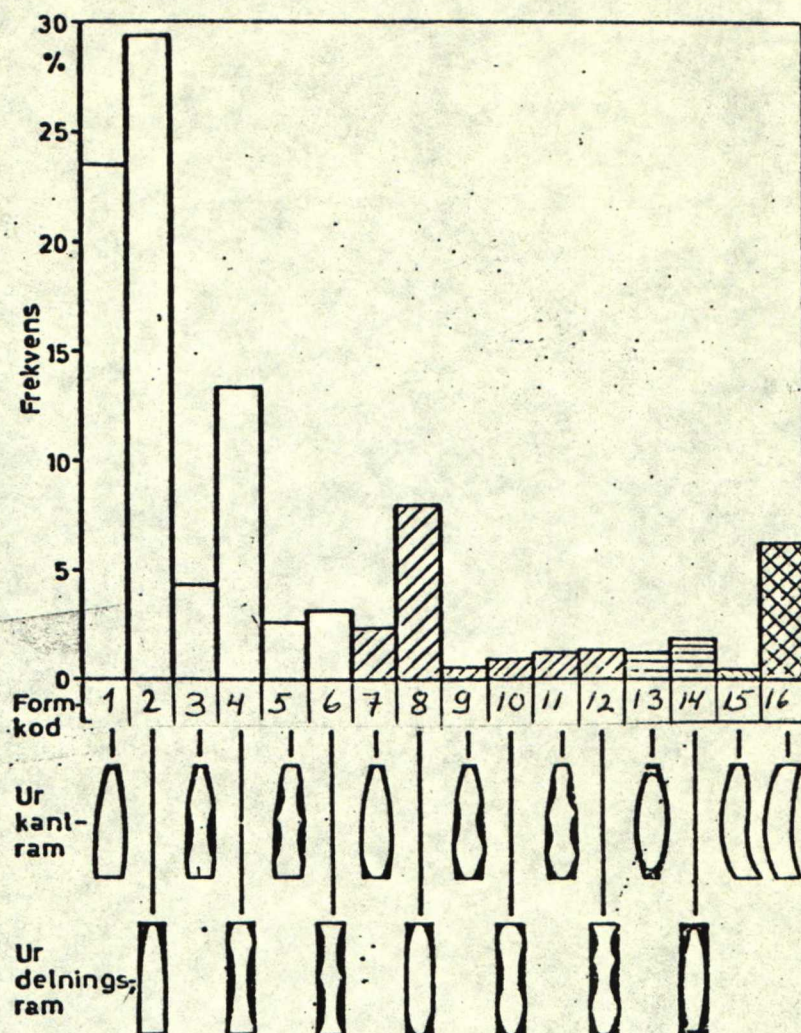
## 2.2 Lauta-aihioiden ominaisuuksien tarkastelua

### 2.2.1 Geometristen ominaisuuksien perusteella tapahtuva lajittelu

Sivulauta-aihioiden muotojakautumia on tutkittu laajasti pyrittäessä selvittämään särmäyksen optimointiin liittyviä ongelmia. Kahta täsmälleen samanlaista aihiota ei ole olemassa, mutta joitakin päätyyppejä voidaan kuitenkin erotella. Aihioden erilaisuus johtuu luonnollisesti tukkien erilaisesta geometrisestä muodosta. Lisäksi lautojen erilaisuuteen vaikuttavat sahausprosessiin liittyvät tekijät, kuten sahan asete, tukin suuntaus sahaan sekä se, onko kyseessä esi- vai jakosahauksesta tullut sivulauta.

Seuraavassa kuvassa esitetään eräs sivulauta-aihioiden luokittelutapa. Jakaminen tapahtuu kuuteentoista eri luokkaan, joista yhdeksän on esi- ja seitsemän jakosahauksesta saatua tyyppiä. Kokeessa tutkittu lautamäärä oli 1683 kpl /3/.





Kuva 14. Erilaisia sivulautatyyppejä.



Edellisen kuvan lautatyyppien prosentuaalinen jakautuma oli ko. kokeessa seuraava

Formkod	% av hela provet	
1	23,5	52,9
2	29,4	
3	4,3	
4	13,3	17,6
5	2,6	
6	3,2	5,8
7	2,3	
8	7,9	10,2
9	0,5	
10	0,9	1,4
11	1,2	
12	1,3	2,5
13	1,2	
14	1,8	3,0
15	0,4	
16	6,2	6,6
Hela provet	1683 st.	

Taulukko 1. Sivulautatyyppien prosentuaalinen jakautuma

Yllä olevasta taulukosta nähdään, että ideaaliset laudat, jotka ovat symmetrisiä ja latvaa kohti tasaisesti kapenevia (tyypit 1 ja 2), muodostavat valtaosan (52,9 %) tarkasteltavasta otoksesta. Seuraavaksi yleisin on tiimalasin muotoinen lautatyyppi, jonka tyvessä ei ole kaventumaa (tyypit 3 ja 4, 17,6 %). Muita perustyyppejä on huomattavasti vähemmän. Kannattaa kuitenkin kiinnittää huomiota käyrän ja siis epäsymmetrisen lautatyyppin 16 yleisyyteen (6,6 %). Laudan oikea suuntaus sahaan syötettäissä on tämän tyyppisillä laudoilla erityisen tärkeää.



### 2.2.2 Virheellisen särmäyksen vaikutus saantoon eri lautatyypeillä

Jokaista särmättävää sivulautaa kohti täytyy tehdä päätös, joka määrää

- a) kuinka leveä lauta aihioista tehdään,
- b) miten aihio suunnataan ennen syöttöä särmäyskoneen läpi.

Kummankin päätöksen määrää suurelta osalta laudan yleislaatu, ts. esim. miten oksainen se on tai miten paljon siinä on halkeamia jne. Jos lauta on oksaton ja muutenkin hyvälaatuinen, kannattaa siitä useimmiten ennemmin tehdä kapea ja täyssärmäinen kuin leveä ja vajaasärmäinen. Vajaasärmä laskee laudan laatuluokkaa eikä vajaasärmäisen laudan, vaikkakin leveämmän, metrihintaa useimmiten nouse parhaan laatuluokan laudan tasolle. Jos taas lauta on alunperin laadultaan heikohko, kannattaa useimmiten jättää vajaasärmää ja tehdä laudasta mahdollisimman leveä.

Aihion suuntauksessa on kysymys saman tyyppisestä asiasta. Muuttamalla suuntausta hieman saadaan kenties enemmän vajaasärmää, mutta laudan pituus ja tuloksen arvo saattavat kasvaa ratkaisevasti.

Optimista poikkeavien leveys- ja suuntauspäätösten vaikutuksesta saantoon on tehty tutkimuksia, joista seuraavassa esitetään osa Bångin /3/ tutkimuksissaan mittaamista tuloksista.

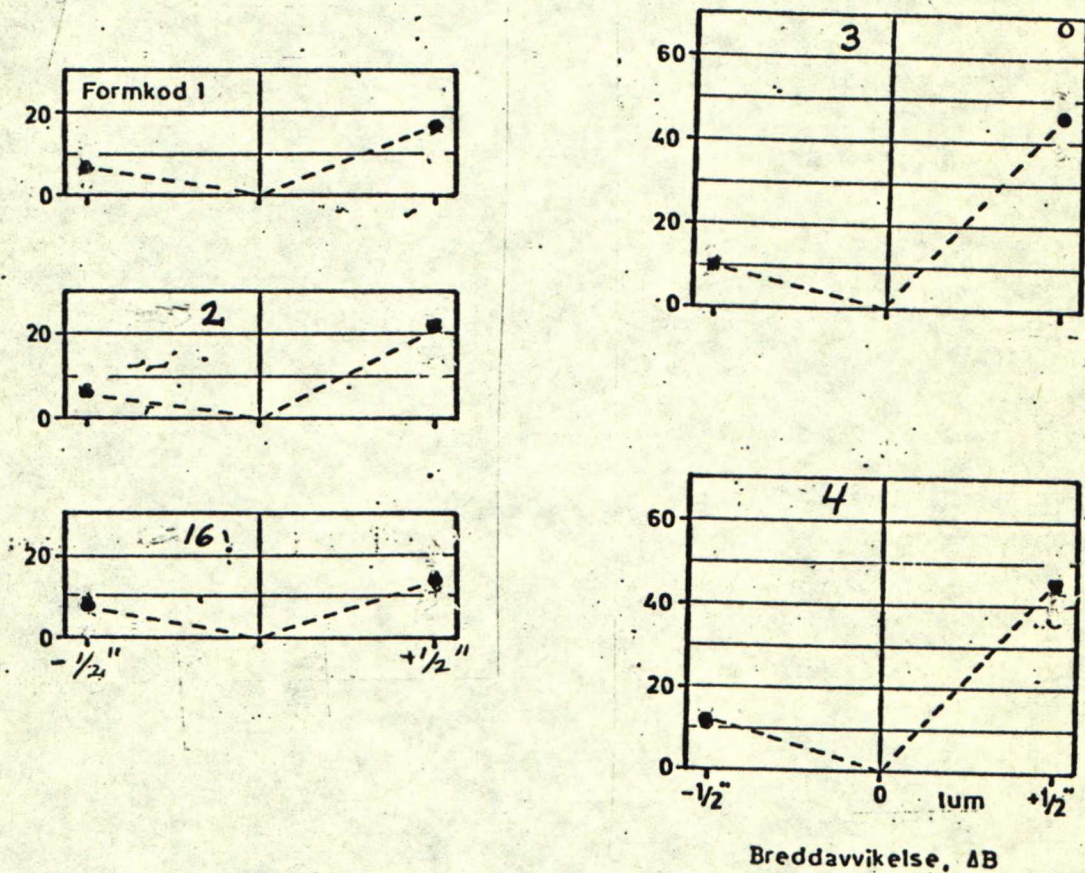
Mittauksissa on pyritty tutkimaan, miten suuri prosentuaalinen menetys optimivaihtoehtoon nähden syntyy, kun leveysasetus- ja laudan suuntausarvot poikkeavat optimaalisesta. Optimivaihtoehtoiksi on



tässä otettu koetta varten suunnitellussa mittauskehikossa saadut mittausarvot, jotka saadaan visuaalisella tarkastelulla eräänlaista kaikki lautaleveydet sisältävää kehysviivainta käyttäen ja ilman mittaukseen käytetyn ajan rajoittamista.

### Virheet leveyden valinnassa

Leveysasetuksessa tehtyjen virheiden vaikutusta saantoon voidaan tutkia seuraavien kuvien avulla. Niissä on esitetty, miten puolen tuuman poikkeama optimiarvosta vaikuttaa saantoon.



Kuva 15. Leveysvirheiden vaikutus saantoon.

Kuvassa 15 on käytetty kohdassa 2.2.1 esitettyä sivulautojen luokittelua ja esimerkeiksi on valittu yleisimmin esiintyviä sivulautatyyppejä, joihin on

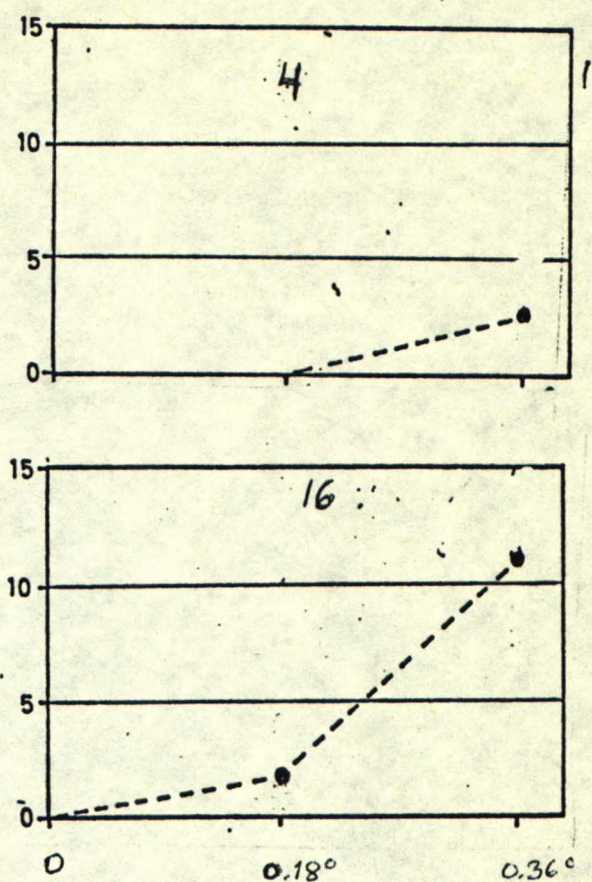
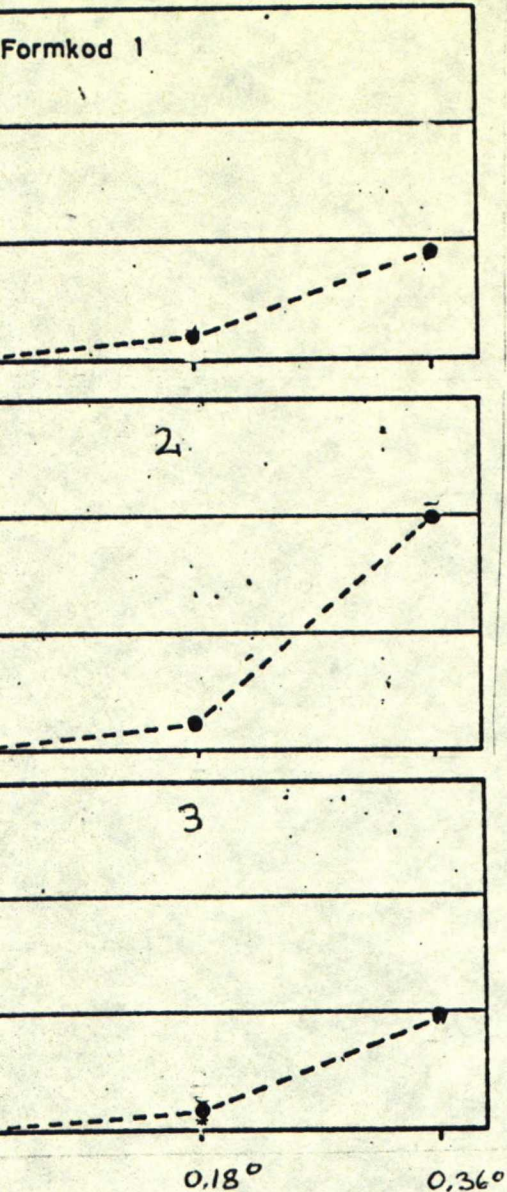


tässä yhteydessä luettu myös tyyppi 16, joka edusti epäsymmetrisiä, esisahauksesta tulleita lautoja. Kuvista voidaan havaita, että laudoilla, jotka sahattiin 12,5 mm (1/2") optimaalista kapeammiksi, oli pinta-alan ja siis myös tilavuuden vähennys noin 10 % kaikissa lautaluokissa. Toisaalta valittaessa optimaalista vaihtoehtoa 12,5 mm leveämpi lauta oli puuvolyymien menetys n. 15 % - 20 % kaikilla muilla paitsi tiimalasin tyyppisillä laudoilla, joilla se saattoi olla jopa 50 %. Tämä selittyy sillä, että lautaa levennettäessä muut kuin tiimalasin tyyppiset laudat lyhenevät ainoastaan latvastaan, mutta tiimalasilautojen keskiosa tuli liian kapeaksi ja lauta jouduttiin katkaisemaan jostakin läheltä laudan keskikohtaa.

#### Virheet aihion suuntauksessa

Aihion suuntausvirheiden vaikutusta saantoon tutkittiin hakemalla em. mittauspenkissä ensin suuntauksen optimiarvo ja sen jälkeen poikkeuttamalla lautaa tästä suunnasta ensin  $0,18^{\circ}$  ja sen jälkeen  $0,36^{\circ}$ . Kulmat vaikuttavat pieniltä, mutta Bångin /3/ mukaan on oletettavaa, ettei manuaalisessa särmäyksessä normaalisti yleensä tehdä yli  $0,36^{\circ}$ :n virhettä, joten poikkeamat vastannevat melko hyvin käytännössä esiintyvää hajontaa. Saantohävikit eri lautatyypeillä selviävät seuraavista kuvista.





Kuva 16. Suuntausvirheiden vaikutus saantoon.

Kuvista voidaan todeta, että saantomenetykset  $0,18^\circ$ :n kulmavirheillä ovat verrattain pienet, alle 5 %:n luokkaa, mutta kasvavat nopeasti kulmavirheen lisääntyessä  $0,36^\circ$ :n. Erityisen nopeaa on menetyksen kasvu suoralla jakosahasta tulleella tyyppillä (tyyppi 2) sekä varsinkin käyrällä esisauhuksesta saadulla aihiolla (tyyppi 16). Näillä on  $0,36^\circ$ :n kulmavirheestä aiheutunut volyymin väheneminen jopa yli 10 %.



Yhteenvedona virheellisen särmäyksen vaikutuksesta saantoon voidaan esittää seuraava taulukko

Form- kod	Medelvärde av utbytesförlust, %			
	Vinkelvridding $\alpha$		Breddändring $\Delta B$	
	0,18°	0,36°	+ ½"	- ½"
1	1,09	4,55	16,90	7,08
2	1,24	10,03	20,62	6,07
16	1,95	10,97	14,07	7,98
3	0,82	4,94	46,56	9,98
4	0,00	2,70	45,87	12,54

Taulukko 2. Yhteenvedo särmäysvirheiden vaikutuksesta saantoon.

Edellä esitetyt poikkeamat optimisärmäysvaihtoehdon valinnasta edustavat kokeiden mukaan normaalia hajontaa tehtäessä särmäyspäätökset ja sahaan syöttö sahauslinjan määräämällä nopeudella. Voidaan siis kaiken kaikkiaan todeta, että pahimmassa tapauksessa saattaa särmääjän virhearvioinnista johtuva puuvolyymien menetys olla kymmeniä prosentteja optimisaannosta.

## 2.3 Lautojen lajitteluluohjeet ja laaturyhmät

### 2.3.1 Yleistä

Sahatavaralle on laadun määrittäminen erittäin olennaista. Laudat on voitava luokitella käyttötarkoitustaan



vastaavasti siten, että esim.

- ostaja saa käyttötarkoituksiinsa soveltuvan puutavaran mahdollisimman edullisesti ts. ei esim. osta liian hyvää lautaa betonoimistöihin,
- lujuuslajiteltua tavaraa hankittaessa voidaan varmistua puurakenteiden kestävydestä,
- panelointiin käytettävä materiaali on tarpeeksi homogeenista esim. oksien suhteen.

Nykyiset lajitteluohjeet ovat osittain peräisin jo 1930-luvulta, vaikkakin ne on koottu vuonna 1960 kirjaseksi "vientisahatavaran lajitteluohjeet" eli ns. "vihreäksi kirjaksi" /18/.

Vihreä kirja määrittelee sahataavaran lajittelun varsin tarkasti, itse asiassa niin tarkasti, että sen ohjeita on mahdotonta käytännössä täysin tarkasti noudattaa.

Seuraavassa esitetään lajitteluohjeiden pääkohdat niiltä osin kuin ne sivuavat tässä työssä tarkasteltavaa ongelmakenttää.

### 2.3.2 Vikojen ryhmittely

Sahataavaran laatuluokan määräävät erilaiset viat, niiden koko ja sijainti. Seuraavassa esitetään lyhyesti nykyisin käytössä oleva vikojen ryhmittelykäytäntö. Erilaisia vikoja ja niiden määrittelyä on tarkemmin selvitetty /18/:ssa. Tässä tyydytään pelkkään luettelonomaiseen esitykseen, josta kuitenkin selvinnevät vikojen pääpiirteet.



Viat jaetaan kahteen pääryhmään:

A. Laatuviat

B. Kuntoviat

A. Laatuviat

1. Rakenneviat

- oksat
  - terve, kuiva, laho- ja kuorioksa
- pihkakolo ja yleinen pihkaisuus
- koro ja kaarnaroso
- lyly
- vino- ja kierresyisyys
- laho
- hyönteisvahingot

2. Valmistusviat

- vajaasärmä
- epämittaisuus
- huono sahausjälki, telojen jäljet jne.

3. Halkeamat

- sydänhalkeama
- rengashalkeama
- kuivumishalkeama

4. Muodonmuutosviat

- lapevääryys
- syrjävääryys
- kierous
- kuperuus

B. Kuntoviat

1. Virheellinen kuivumisaste
2. Sinistymä
3. Muut värin muutokset



Voidaan todeta, että vajaasärmä, jota tässä työssä keskeisesti tarkastellaan, on vain yksi lukuisten lajitteluun vaikuttavien vikojen joukossa. Se on kuitenkin varsin tärkeä, koska vajaasärmä ja oksat useimmiten määräävät laudan laadun ja muut viat ovat huomattavasti harvemmin esiintyviä. Oksien tarkasteluun ei tässä työssä puututa, vaikka se käytännön lajittelu- ja laatumäärittämisessä onkin välttämättömyys.

### 2.3.3 Käytössä olevat laatuluokat

Kukin lauta lajitellaan siihen laatuluokkaan, mihin kohdassa 2.3.2 lueteltujen vikojen esiintyminen antaa aiheutta.

Laatuluokkia merkitään tunnuksilla I-VI, missä I tarkoittaa parasta ja VI huonointa lautaa. Näiden lisäksi luokitellaan vielä tukin pinnasta saatavat pinta-laudat useampaan luokkaan. /18/:ssa on esitetty kullekin laatuluokalle sallitut enimmäisviat.

Käytännössä on mahdotonta erotella kaikkia luokkia toisistaan ja sen vuoksi ollaankin siirrytty seuraavaan yleisesti käytettyyn luokitteluun:

- A. täyssärmäiset
- B. vajaasärmäiset

A. täyssärmäiset (lievää vajaasärmäisyyttä sallitaan)

Käytössä ovat yleisesti seuraavat kolme laatuluokkaa:

U/S	$\left\{ \begin{array}{l} \text{I} \\ \text{II} \\ \text{III} \\ \text{IV} \end{array} \right.$
V	"kvintta"
VI	"seksta"



Parhaan laatuluokan laudat ovat siis luokkaa U/S, joka on saatu yhdistämällä luokat I-IV (tulee sanasta UnSorted). Kvintta- ja sekstaluokat ovat samat kuin alkuperäisissä lajitteluohjeissa.

#### B. \_vajaasärmäiset

Edellä mainittujen lisäksi saatavat, paljon vajaasärmää sisältävät pintalaudat jaetaan useimmiten ns. vienti- ja kotimaanlaatuun. Kumpaakin käytetään pääasiassa betonoimis- yms. tarkoituksiin eikä vajaasärmää ole rajoitettu muuten kuin siten, että vaaditaan sahanterän koskettaneen molempia laudan lappeita ja syrjiä koko matkalta (tästäkin saatetaan tinkiä kotimaan laadussa). Vienti- ja kotimaanlaadun lisäksi lajittelevat jotkut sahat erikseen vielä höyläyskelpoisen (puolipuhtaan) ja oksattoman pintalaudan /17/.

Sahatavaran laatulajittelussa esiintyy käytännössä sahakohtaista vaihtelua, mutta edellä lueteltuja laatuluokkia voidaan pitää yleisimmin käytössä olevina ja suositeltavina.



### 3. SÄRMÄYS JA SEN AUTOMATISOINTI

#### 3.1 Särmäyksen yleiskuvaus

Särmäyksellä tarkoitetaan, kuten jo aiemmin on esitetty, esi- tai jakosahasta tulleiden sivulauta-aihoiden vajaasärmien poistamista joko kokonaan tai osittain sahaamalla aihion reunoista pois pituussuunnastaan tietyn suuruiset kappaleet. Nykyisin on käytössä myös särmäkursoja, joilla voidaan hakettaa suoraan aihion poistettavaksi tarkoitetut osat.

Manuaalinen särmäys tapahtuu pääkohdittain seuraavasti:

- 1<sup>o</sup> Särmääjä tarttuu pitkittäiskuljettimella tulleen aihioon sopivalla koukulla tms. ja vetää sen poikittaisuunnassa eteensä arvioitavaksi.
- 2<sup>o</sup> Aihion yleislaadun ja vajaasärmäisyyden perusteella määrätään särmättävälle laudalle leveys. Jos leveysasetus muuttuu edelliseen lautaan nähden, asetetaan sahan terät käsikäyttöisen vivun avulla uuteen asentoon.
- 3<sup>o</sup> Aihion suuntaus tapahtuu visuaalisen arvion perusteella. Särmääjä kääntää laudan arvioimaansa optimiasentoon.
- 4<sup>o</sup> Aihio työnnetään kohti särmäsahaa, jolloin puristustelat tarttuvat aihioon ja vetävät sen sahan läpi. Syntyvät rimat putoavat kuljettimelta ja lauta jatkaa yksin matkaansa.

Särmäysnopeus saattaa tyypillisesti olla n. 5-8 lautaa minuutissa eli käytettävissä on aikaa noin 10 sekuntia lautaa kohden.



## 3.2 Menetykset manuaalisärmäyksessä

### 3.2.1 Menetysten syyt

On ollut jo kauan tunnettua, että manuaalisen särmäyksen yhteydessä syntyvät menetykset optimaaliseen särmäykseen verrattuna ovat huomattavat. Tähän on syynä ennen kaikkea sahalinjan määräämä nopeus. Varsinaiseen arvioimisvaiheeseen on käytettävissä ainoastaan muutamia sekunteja, joista suurin osa kuluu mekaaniseen siirtelyyn ja mahdolliseen sahan asetukseen. Toinen virhelähde on aihion syöttö sahaan. Vaikka olisikin tehty oikea päätös siitä, miten aihio olisi suunnattava, ei ole varmaa, että sen asemointi onnistuu sen rajoitetun ajan puitteissa, mikä kullekin kappaleelle on linjan nopeuden perusteella määräytynyt.

Tavallisesti sahalla särmätään lautoja ainakin seitsemään eri leveyteen, käytössä on ainakin 5 eri laattaa ja pituuksia on vähintään 11 kappaletta. Suoraan kertomalla näistä saadaan 385 kombinaatiota. Särmäjän olisi tiedettävä, paitsi ne kombinaatiot, joita ei valmisteta, myös valmistettavien vaihtoehtojen edullisuusjärjestys, joka voi olla eri laudan paksuuksilla erilainen /16/.

Vaikka otettaisiin huomioon, että sahauslinjaan kuuluvalla särmällä lautojen koko ei voi vaihdella ääri-rajvoja myöten, jää käytännössä tiedettäväksi miten esim. kolmen laadun ja kolmen leveyden eri pituusvaihtoehdot sijoittuvat hinta-asteikolle. Olisi siis hallittava noin sata arvostusta. On selvää, että särmäyspäättökseen käytettävissä olevan ajan puitteissa on mahdotonta käydä kaikkia mahdollisuuksia edes suurin piirtein läpi, vaan särmäys perustuu keskeisesti kokemukseen ja tottuneisuuteen. Inhimillisillä tekijöillä, kuten väsymisellä, kyllästyneisyydellä jne.

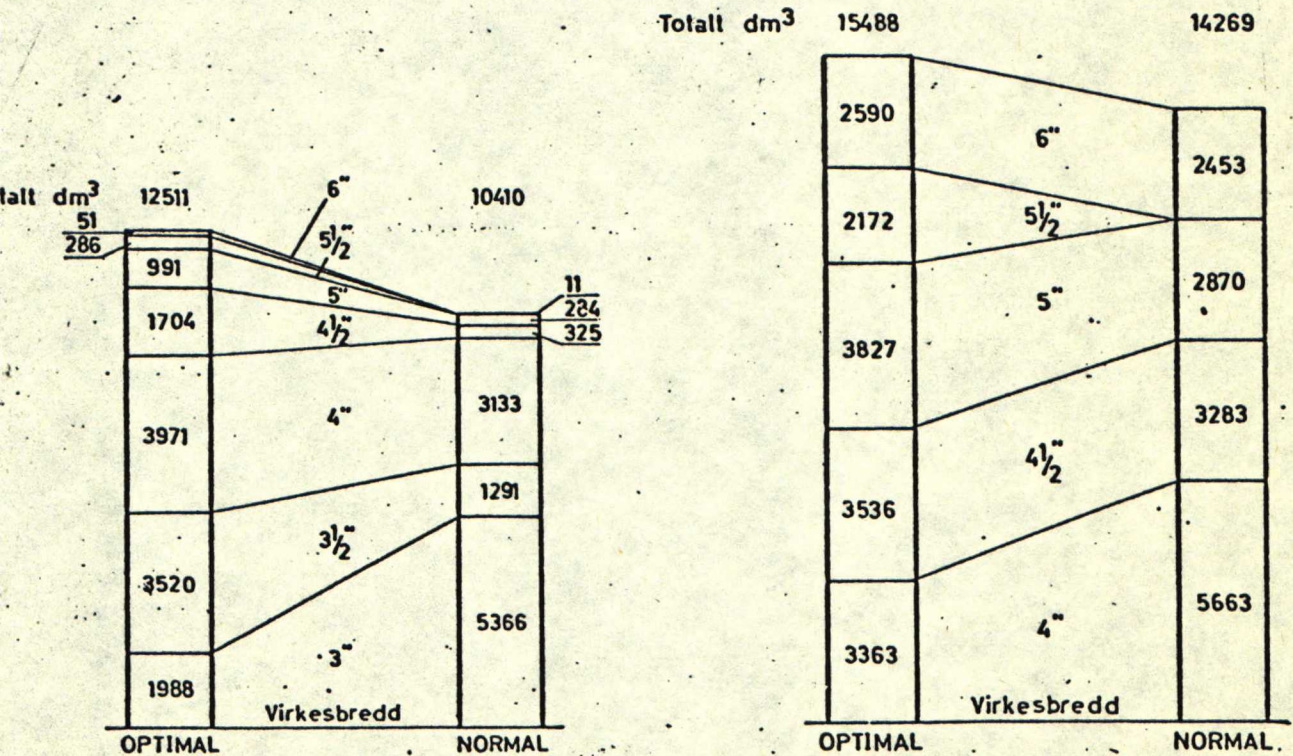


on särmäyksessä poikkeuksellisen suuri merkitys. Saanto laskee selvästi, jos särmääjän kiinnostus työhönsä vähenee.

### 3.2.2 Menetysten suuruus

Aiemmin on jo mainittu Bångin /3/ v. 1963 tekemät tutkimukset. Koska ne kuitenkin edelleen muodostavat perusteellisimman särmäyshävikkejä käsittelevän materiaalin, esitetään myös tässä yhteydessä joitakin hänen saamistaan tuloksista.

Bång vertaili toisaalta mittauskehyksellä mitattujen ja toisaalta normaalisti särmättyjen aihioden leveysjakautumien keskinäistä vastaavuutta kahdella lauta-paksuudella ja sai seuraavissa kuvissa esitetyt tulokset.

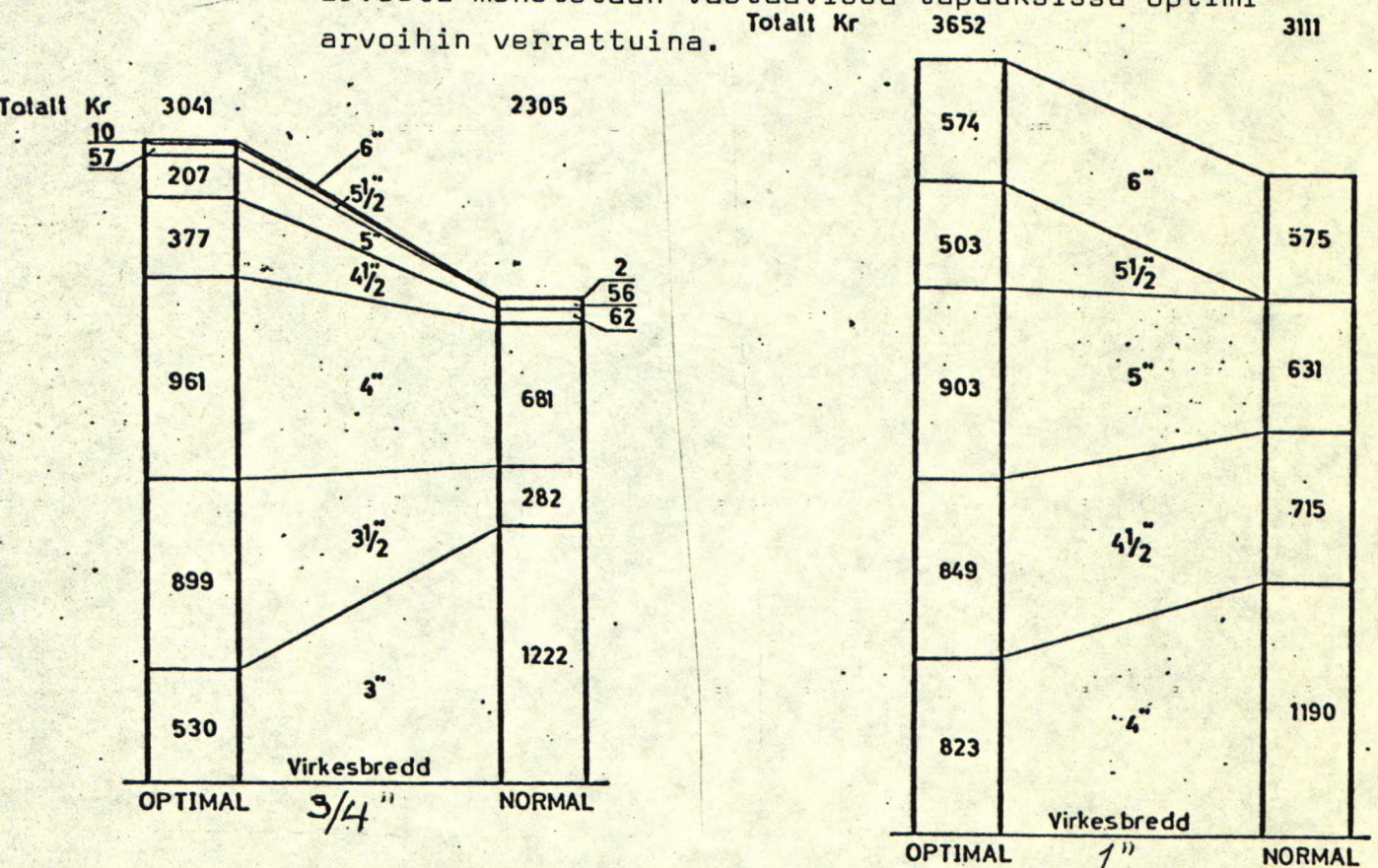


Kuva 17. Leveysjakautumien vertailu optimaalisen ja normaalin manuaalisärmäyksen välillä.



Kuvista voidaan selvästi havaita, miten normaalissa manuaalisärmäysympäristössä tehdään kapeita lautoja selvästi suurempi prosentuaalinen osuus koko määrästä kuin optimaalinen särmäys edellyttäisi.

Kokonaissaantoprosentit puuvolyymien suhteen laskettuina ovat kuitenkin huomattavan korkeat n. 83 %  $3/4$ "-n laudoilla ja 92 % 1"-n laudoilla. Tämä johtuu siitä, että lautojen keskipituus on kapeilla laudoilla kasvanut huomattavan suureksi. Seuraavasta kuvasta selviää kuitenkin, miten paljon puutavaran arvosta menetetään vastaavissa tapauksissa optimiarvoihin verrattuina.



Kuva 18. Manuaali- ja optimisärmäyksen tuloksen arvojen vertailu.

Rahallinen saanto on  $3/4$ "-n laudoilla n. 76 % ja 1"-n laudoilla n. 85 %. Tässä korostuvat puutavaran yleiset hinnoitteluperusteet: leveä tavara on suhteellisesti kalliimpaa kuin kapea.



Keskimääräiseksi karkeaksi arvioksi rahalliselle hävikille tästä saadaan n. 20 %, mikä siis suurin piirtein menetetään, kun särmäys suoritetaan käsin. Myös muissa tutkimuksissa, mm. VTT:n Suomen Sahanomistajayhdistyksen aloitteesta tekemässä tutkimuksessa on päästy samaa suuruusluokkaa olevaan lukuun.

### 3.3 Perusteluja särmäyksen automatisoinnille

Edellä on kuvattu manuaalisessa särmäyksessä esiintyviä tappioita, jotka aiheutuvat suurelta osin inhimillisistä syistä. Haluttaessa parantaa särmäyksen saantoa sekä volyymin että markkamäärän suhteen on käytettävissä kaksi periaatteessa erilaista keinoa

- a) parannetaan manuaalisärmäystä,
- b) siirrytään automaattisesti ohjattuun särmäykseen niiltä osin kuin se on mahdollista.

Ensimmäistä vaihtoehtoa sovellettaessa on eräs yleisesti käytetty tapa järjestää särmääjälle jonkinlainen suuntaamista auttava apuväline, kuten esim. valojuovat tai vastaavat merkit, jotka projisioidaan aihion pinnalle. Juovat osoittaisivat, miltä kohtaa särmäys tulisi eri leveyksiä valittaessa tapahtumaan. Tällaisia särmäyspäättöä helpottavia yksinkertaisia apuvälineitä onkin sijoitettu useille särmälinjoille. Erään tutkimuksen mukaan /10/ pelkkä valojuovien projisointi paransi särmäyksen saantoa 4 %. Työolosuhteiden parantaminen, kuten työn keventäminen tai särmäystavan harkinta-ajan pidentäminen on kuitenkin vaikeata sahauslinjan nopeuden vuoksi. Voidaankin todeta, ettei särmäysprosessia oleellisesti voida parantaa pelkästään entistä manuaalijärjestelmää kehittämällä.



Särmäysprosessin automatisoinnille on sen sijaan helppo keksiä perusteluja. Automatisoinnilla voitaisiin särmäystä parantaa kahdella tasolla:

- a) työympäristön parannus,
- b) särmäystuloksen parannus.

Työympäristöä voitaisiin parantaa järjestämällä aihoiden, särmättyjen lautojen sekä hukka-aineen kuljetukset automaattisiksi, jolloin särmääjän työ saataisiin kevyeksi ja välttyttäisiin manuaalisärmäyksessä yleisiltä selkä- ym.s rasitusvammoilta. Särmääjä voitaisiin sijoittaa prosessin tarkkailijaksi lämmitettyyn ja pölysuojattuun koppiin. Myös työturvallisuus paranisi, koska särmääjä ei suoranaisesti olisi kosketuksissa kuljettimien ja sahakoneiden kanssa.

Särmäystulos kasvaisi, koska on selvästi osoitettu, että parhaassakin manuaalisärmäyksessä syntyy suuri saannon vajeus optimiin nähden ja nykyisenä tietokoneiden aikana pystyttäisiin inhimillistä parempaan ja nopeampaan särmäyspäättöksen tekemiseen koneellisesti. Lisäksi automaatti toimii kaikissa olosuhteissa samalla tavalla, sillä ei ole ns. inhimillisiä heikkouksia, jotka huonontaisivat tulosta esim. vuoron loppupuolella. Automaatin harteille voitaisiin lastata lisäksi sellaisia töitä, jotka manuaalisessa särmäyksessä olisivat ajanpuutteen takia mahdottomia. Tyypillisesti tällainen toimenpide olisi esim. tarkka kirjanpito särmätystä sahatavarasta. Aika ajoin tapahtuva raportointi voitaisiin sitten kytkeä koko sahalaitoksen tuotannon suunnitteluun ja -ohjaukseen ja särmäystä voitaisiin ohjata siten, että se palvelisi sahan kokonaisohjausta.



Särmäyksen automatisointipyrkimyksille on siis olemassa vankat perustelut. Seuraava luku käsittelee kahdessa eri yrityksessä kehitettyjä särmäysautomaatteja. Niiden esittelyn yhteydessä selvinnevät nykyisten särmäysautomaattien resurssit ja kehittelymahdollisuudet.



#### 4. JOITAKIN TOTEUTETTUJA SÄRMÄYSAUTOMAATTEJA

Seuraavaksi tarkastellaan kahdessa eri yrityksessä suunniteltuja ja toteutettuja automaattisia särmäyslaitteita. Ensiksi esitetään A. Ahlström Oy:ssä (mukana kehitystyössä on tosin ollut useita muitakin yrityksiä) kehitetyn särmäyssysteemin eri versioita. Sen jälkeen tarkastellaan ruotsalaisessa SAAB-tement AB:ssa toteutetun automaatin pääpiirteitä. Näiden lisäksi on myös joissakin muissa yrityksissä tutkittu automaattista särmäystä. Tarkastelu rajoitetaan kuitenkin kahteen ensiksi mainittuun yritykseen.

##### 4.1 A. Ahlström Oy

##### 4.1.1 Historiaa /10/

Särmäyksen automatisointia on tutkittu vuodesta 1970 lähtien projektiryhmässä, jonka muodostivat A. Ahlström Oy:n lisäksi Oy Nokia Ab, RADAB INTERNATIONAL OY ja ja Enso-Gutzeit Osakeyhtiö. Myöhemmin ryhmään liittyi lisäksi Elektroniikkatoimisto Oy. Ulkopuolisena on mukana ollut VTT:n Puutekniikan laboratorion edustaja, joka on avustanut mm. projektin koordinoinnissa.

Särmäysautomaatista on ollut kehitteillä useampia versioita. Ensimmäinen yritys tietokoneistetun särmäyssysteemin luomiseksi aloitettiin 1971 Uimaharjun sahalla, mutta sahan palo 1975 lopetti kehitteillä olleen laitteiston jatkotutkimukset.

Seuraavan särmäysautomaattiversion suunnittelu- ja konstruointityöt aloitettiin varsin pian Uimaharjun sahan palon jälkeen. Laitteen kehitystyöt ovat nyt jo edenneet tuotantovaiheeseen ja särmäysautomaatit on asennettu ainakin Ahlströmin Varkauden sahalle



sekä Tampellan Tolkkisten sahalle, missä niistä on saatu myönteisiä kokemuksia /12/.

Kehitystyö on kuitenkin jatkuvasti käynnissä. Kokeusten perusteella on laitteistoa kehitetty ja seuraavan särmäysautomaattiversion ensimmäisen kappaleen asennukseen ja tuotantoajoon on tarkoitus päästä vuoden 1978 aikana.

#### 4.1.2 Tavoitteiden asettelu

Alusta lähtien oli selvää, että automaattisen särmäys-systeemin tulisi toteuttaa tietyt perustavoitteet. Koko särmäyksen automatisointiajatus oli suurelta osin lähtenyt liikkeelle siitä, että tunnettiin manuaali-särmäyksessä syntyvät hävikit. Särmäysautomaatin tuli siis parantaa saantoa. Lisäksi katsottiin, ettei pelkkä puun tilavuuden optimointi riitä, koska kolmesta laudan hintaan vaikuttavasta tekijästä - leveys, pituus ja laatu - on laadulla suurin painoarvo. Laite, joka mittaisi automaattisesti laudan laadun, katsottiin toisaalta kehitystyöltään ja toteutukseltaan liian hankalaksi. Näin jäi jäljelle vaihtoehto, jossa särmääjä antaa visuaalisesti tekemänsä harkinnan perusteella tietokoneelle tiedon laudan laadusta. Tietokone laskee sitten arvot sellaisille leveys-pituuskom-binaatioille, joita aihioista on mahdollista särmätä ja valitsee niistä parhaan. Lisäksi täytyy automaatin osata siirtää optimilaudan leveys- ja suuntaustiedot särmäysmekaniikalle siten, että laudan särmäys voi tapahtua täysin automaattisesti.

Tavoitteiden asettelu on kokemusten seurauksena jonkin verran muuttunut ja ennen kaikkea tullut yksityiskohtaisemmaksi. Automaatille on esim. annettu lisätehtäväksi kirjanpidon hoitaminen särmätyistä



laudoista. Lisäksi aivan viime aikoina on tavoitteeksi asetettu automaattinen laadunmäärittäminen ainakin karkealla tasolla. Alussa kuvatut tavoitteet olivat kuitenkin pääkohdittain ne, joiden pohjalta särmäysautomaattia lähdettiin kehittämään.

#### 4.1.3 Toteutus

A. Ahlström Oy:n särmäysautomaatin eri versioista keskitytään pääasiassa kuvaamaan toisena kohdassa 4.1.1 mainittua, koska sillä on tällä hetkellä eniten käytännön merkitystä ja siitä on jo saatu varsin laajoja kokemuksia.

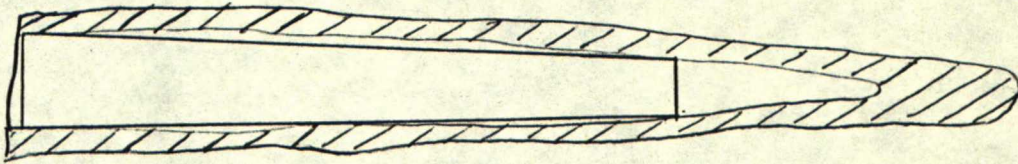
Aluksi kuitenkin kuvataan lyhyesti ensimmäistä, sahan palossa 1975 tuhoutunutta systeemiä. Lopuksi luodaan katsaus uusimpaan, lähiaikoina tuotantoon saatavaan automaattiin.

##### Ensimmäinen särmäysautomaatti

Ensimmäisen tietokoneohjatun särmäysautomaatin kehitystyöt alkoivat siis vuonna 1971. Vaikka projekti jäikin sahan tuhoutumisen vuoksi kesken, ehdittiin siitä kuitenkin saada joitakin kokemuksia. Näistä tärkein oli ehkä se, että voitiin käytännössä todeta särmäysautomaatin edut ja sen jatkokehitystyön kannattavuus.

Särmäysvaihtoehtojen hakemisen lähtökohtana oli lauta-aihiolle optisesti projisoitu puolisuunnikas, jonka koko ja erisuuntaisten sivujen suuntaaminen oli särmääjän määrättävissä. Puolisuunnikkaalla rajattiin aihiolta tiettyä laatuluokkaa vastaava alue. Seuraava kuva selvittänee asiaa.





Kuva 19. Eräs aihiolle projisoitu puolisuunnikas.

Kun alue on rajattu ja sitä vastaava laatu annettu tietokoneelle, lasketaan puolisuunnikkaan mitat. Tietokone sovittaa sitten puolisuunnikkaaseen erilaisia standardimitat täyttäviä suorakaiteita ja laskee muistissaan olevien hintatietojen avulla kunkin arvon. Laskuoperaatiot voidaan tehdä rajoittamattoman monta kertaa puolisuunnikasta välillä vaihtaen. Koneen muistiin jää lasketuista vaihtoehtoista paras, jota vastaavat asetearvot siirretään laskennan jälkeen särmäsahalle /16/.

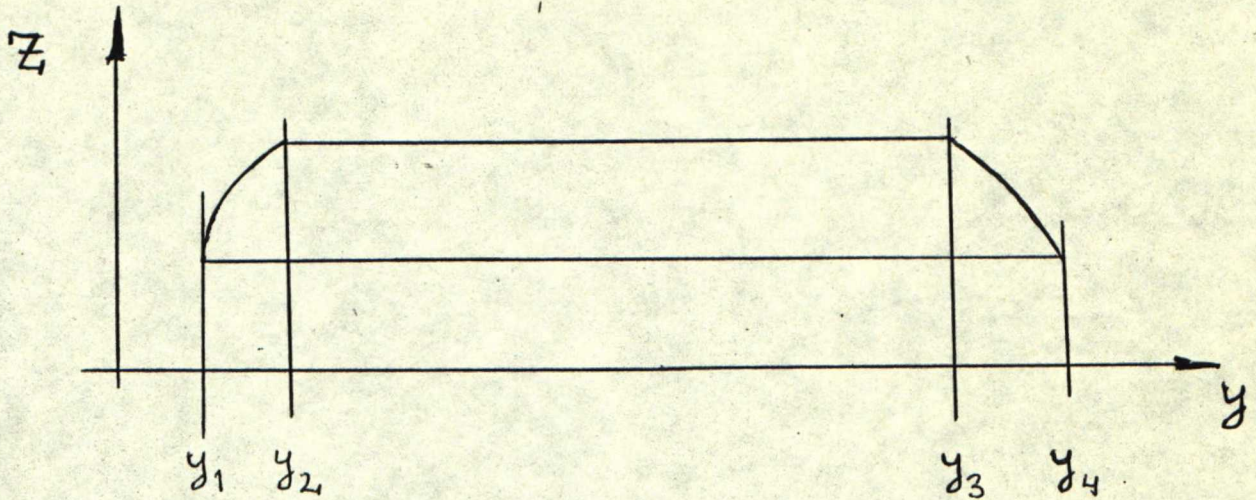
#### Toinen särmäysautomaatti

Ensimmäisen särmäysautomaatin pohjalta kehitettiin seuraavassa kuvattu laite, joka on jo osoittanut toimivuutensa ainakin kahdella sahalla, kuten aiemmin mainittiin.

Aihion muotoa tutkiva laite on ratkaisevasti kehittynyt ensimmäisen särmäysautomaatin puolisuunnikkaita projisoivasta koneesta. Tieto vajaasärmästä mitataan nyt automaattisesti. Jokaisesta poikkileikkauksesta,



joita saadaan 60 cm:n välein, saadaan seuraavan kuvan osoittamat neljä koordinaattia.

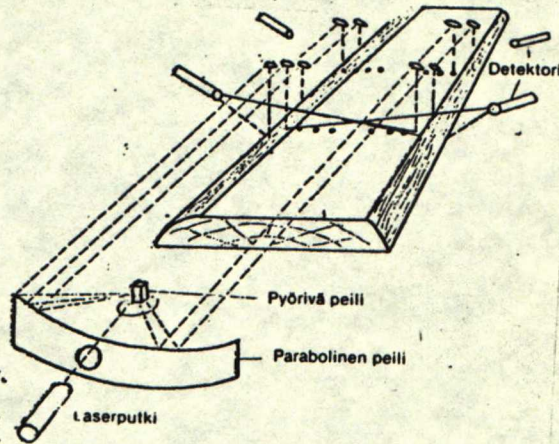


Kuva 20. Yhdestä poikkileikkauksesta saatavat tiedot.

Koordinaatit  $y_i, i = 1, 2, 3, 4$  osoittavat laudan reunan sekä vajaasärmän alkamis- ja loppumiskohdat. Näiden avulla voidaan tutkia, kuinka paljon lappeen suuntaista vajaasärmää kustakin poikkileikkauksesta syntyisi, jos siitä särmättäisiin tietyn levyinen lauta. Tämä tieto yhdessä eri laatuluokille määritellyn vajaasärmärajoitusten kanssa riittää poikkileikkauksittain tehtävään arviointiin siitä, kuinka leveä lauta ko. poikkileikkauksen kohdalta voidaan särmätä kutakin mahdollista laatua. Yhdistämällä eri poikkileikkauksista saatavat mahdollisten leveyksien tiedot voidaan sitten saada tieto siitä, mitkä ovat tutkitavasta aihioista saatavat särmäysvaihtoehdot. On huomattava, ettei lautalaadun tutkimista voida tehdä muun kuin vajaasärmän suhteen. Tietokoneen on edelleen saatava särmääjällä tieto aihion yleislaadusta, kuten oksaisuudesta, halkeamista jne.



Koordinaattien  $y_1$ - $y_4$  (kuva 20) mittaus tapahtuu kuvassa 21 esitetyllä laitteella.



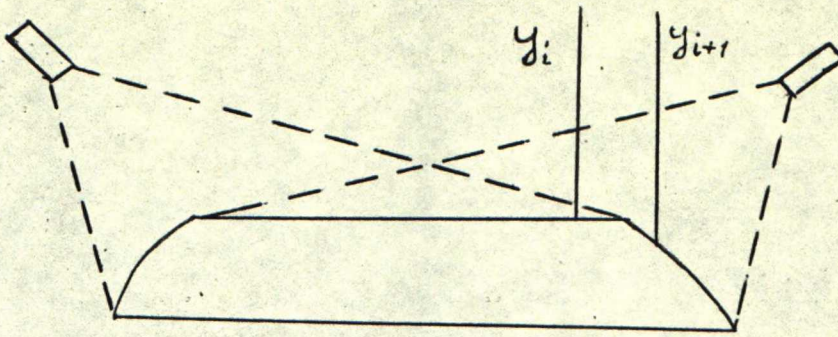
Kuva 21. Vajaasärmien mittaus.

Mittauksessa käytetään lasersäteen avulla toteutettua optista menetelmää. Laserputki lähettää pyörivän peilitahokkaan kautta laudan yli yhdensuuntaisen valopyyhkäisyn.

Pyyhkäisy jaetaan kahteen osaan laudan pinnan yläpuolelle mittauskohtiin asetetuilla rasteripeileillä. Niiden heijastavat osat on asennettu särmäysleveyksiä vastaaville kohdille symmetrisesti mittauslinjan keskiviivaan nähden. Toinen osa pyyhkäisystä etenee suoraviivaisesti seuraavaan mittauskohtaan asti, jossa se jälleen jaetaan alaspäin heijastuvaan ja suoraan etenevään osaan.

Näin aikaansaatu etenevä valopulssi luetaan sitten poikkileikkausten kohdille sijoitetuilla detektoreilla.





Kuva 22. Detektoreiden sijoitus

Kumpikin detektori näkee vain laudan lappeen sekä toisen vajaasärmistä. Kuvan osoittamassa tapauksessa on näkyviin piirretty esimerkin vuoksi kaksi särmäysleveyttä, joita on merkitty tunnuksilla  $y_i$  ja  $y_{i+1}$ . Kumpikin detektori näkee nyt vasemman puoleisesta peilistä heijastuvan lasersäteen, mutta vasen detektori ei näe enää seuraavaa, oikean puoleisesta peilistä heijastunutta. Koska toisaalta oikean puoleinen detektori näkee vielä senkin, voidaan todeta, että kohdalla  $y_i$  saataisiin aihioista vielä täyssärmäinen lauta, mutta kohdalla  $y_{i+1}$  syntyisi jo vajaasärmää. Näin voidaan lauta kuvata neljän koordinaatin muodostamien ryhmien avulla ja tutkia tietokoneella erilaisia särmäysvaihtoehtoja.

Optimoinnin yhteydessä aihio ensin keskitetään mittauslinjalle kahdesta kiintopisteestä käsin. Aihion latvapäätä siirrellään ja samalla tehdään jatkuvasti mittauksia, joista tietokone antaa vertailuluvun. Laudan latvaa siirrellään, kunnes optimikohta on löydetty. Aihio ajetaan sitten optimiasennossa särmäsahan läpi. Sitä ennen on sahan terät kuitenkin asetettu aihioista saatavan optimilaudan määräämään leveyteen.

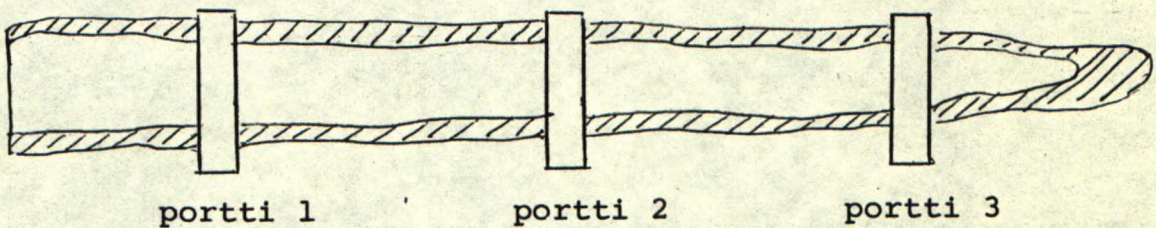


### Kolmas\_särmäysautomaatti

Edellä kuvattu särmäysautomaatin versio on osoittanut toimivuutensa käytännössä. Kuitenkin siinä oli joitakin puutteita, kuten

- mittauslaitteen tarvitsema suuri peilien ja detektoreiden määrä,
- 60 cm:n aihion pituussuuntaista mittausväliä ei voi lyhentää kasvattamatta peilien ja detektoreiden määrää kohtuuttomaksi,
- peilien puhtaanapito täytyy suorittaa päivittäin ja on suuritöistä.

Epäkohtien poistamiseksi on särmäysautomaatista kehitetty jälleen uusi versio, joka on tarkoitus saada tuotantoon vuoden 1978 aikana. Päättavoitteeksi on asetettu yksinkertaisuus ja toimintavarmuus. Edellisen version ratkaisuja on pyritty säilyttämään mahdollisimman paljon samanlaisina, vaikka mittausmenetelmä onkin ratkaisevasti parantunut. Mittaus tapahtuu nyt ns. 3-porttimittauksena, jonka periaate selvinnee kuvasta 23.



Kuva 23. 3-porttimittauksen periaate.



Aihio mitataan sen liikkuesssa porttien alitse. Kukin portti mittaa aihioista 2 metriä pitkän alueen. Kun lauta on kulkenut 2 metrin matkan porttien alla, on se tullut kokonaan mitatuksi, koska aihion maksimipituus on alle 6 metriä. Mittauslaitteena voidaan edelleen käyttää aiemmin kuvattua lasersysteemiä. Nyt ei rasteripeilejä tarvita kuin kolmessa kohdassa ja kuitenkin päästään lyhentämään mitattavien poikkileikkausten väliä 60 cm:stä 3 cm:iin. Aihion muodosta saadaan huomattavasti tarkempi tieto kuin aiemmassa systeemissä samalla kun laitteeseen kuuluvien osien määrä on vähentynyt /12/.

#### 4.1.4 Tulokset

Särmäysautomaatista saadut kokemukset ovat vastanneet niitä odotuksia, mitä sille tavoitteiden määrittelyn yhteydessä asetettiin. Päättavoite, saannon parantaminen, on toteutunut odotetulla tavalla. Tosin on huomattava, että saantoprosentin, ts. sen, kuinka suuren osan ns. teoreettisesta maksimisaannosta automaatti pystyy ottamaan talteen, arviointi ja mittaminen ovat jossain määrin subjektiivisia asioita. Tutkittavan otoksen valinta ja "teoreettisen max saannon" määrittäminen ovat seikkoja, joita on lähes mahdotonta määritellä eksaktisti ja täysin objektiivisesti.

Särmäysautomaatin toisen ja kolmannen version saantoprosenttia on tutkittu ja tulokseksi saatu koejärjestelystä riippuen 95 % - 97 %. Huomiota kiinnittää erityisesti se, että näin suuri luku ilmoitetaan kolmannen lisäksi myös toiselle särmäysautomaattiversiolle, missä laudasta mitattujen poikkileikkausten väli oli 60 cm. Saantoprosentissa ei ole tapahtunut käytännöllisesti katsoen lainkaan muutosta kolmanteen, kolmen cm:n välein lautaa mittaavaan koneeseen nähden.



Kolmannen version kehittelyn päätavoitteena ei näin ollen voidakaan pitää enää saannon ratkaisevaa parannusta, vaan kehitetyn optimointimenetelmän toteuttamista yksinkertaisella tavalla ja siten, että huoltotarve saadaan minimoiduksi.

Saannon parantamista voidaan pitää automaatin ehkä tärkeimpänä tavoitteena. Toinen tärkeä päämäärä on särmäyksen nopeuttaminen. Aiemmin todettiin manuaalisen särmäyksen tyypilliseksi nopeudeksi noin 5-8 lautaa minuutissa. Automaattisen särmäyspöydän kapasiteetti riippuu särmäysnopeudesta, lautojen keskipituudesta sekä särmäsahan tai -kurson teräleveyyden asetusajasta. A. Ahlström Oy:n särmäysautomaattien kapasiteetit ilmoitetaan viisi metriä pitkille laudoille särmäysnopeuden ollessa 150-225 m/min. Särmäyskoneen terien asetusajaksi on oletettu 0.5 s. Näillä alkuehdoilla luvataan toiselle särmäysautomaattiversiolle maksimikapasiteetiksi 18 ja kolmannelle peräti 24 lautaa minuutissa. Jälkimmäinen luku vastaa siis neljää käsin särmääjää nopeudessa. Kun vielä muistetaan, että saantoprosenttia voidaan nostaa automaattisella särmäyksen optimoinnilla n. 15 % - 20 %, voidaan todeta, että särmäysautomaatilla saadut tulokset ovat ylivoimaisia manuaaliseen särmäykseen nähden.

Käytännön kokemukset ovat osoittaneet, että särmäyksen optimointi- ja tietojenkäsittelyosat ovat toimineet moitteetta. Vaikeuksia ovat eniten tuottaneet luotettavan kuljetinmekaniikan kehitys sekä optiikkaan kuuluvien laitteiden puhtaanapito. Automaatin kolmannen version kehittämisen yhteydessä onkin keskitytty juuri näiden vaikeuksien poistamiseen.



#### 4.1.5 Tulevaisuus

Särmäysautomaatin kehitystyö on jatkuvasti käynnissä. Tulevaisuudessa pyritään saamaan aihion mittaus yhä tarkemmaksi mittauslaitetta kehittämällä. Tietojenkäsittelylaitteet on pyritty suunnittelemaan siten, ettei niitä tarvitse uusia myöhemmin tapahtuvien parannusten ja uudistusten yhteydessä. Uudistuksista eniten tutkittu on laudan automaattinen laadunmääritys. Nykyisissä automaateissa särmääjä ilmoittaa aihion laatutiedon (oksaisuuden yms.) painonapeilla ennen kuin tietokone laskee optimisärmäysvaihtoehdon. Tulevaisuudessa voidaan mahdollisesti aihion optisesti havaittavissa olevat viat todeta automaattisesti ja tieto siirtää optimointiohjelmalle ennen varsinaisen optimointiproseduurin alkua. Automaattisen laadunmäärityksen toteutuksesta ei toistaiseksi ole kuitenkaan saatavissa tarkempaa tietoa.

#### 4.2 SAAB-tement AB

##### 4.2.1 Historiaa

Ajatus särmäysautomaatista, jota ruotsalainen SAAB-tement AB nykyisin markkinoi, on peräisin jo 1960-luvulta. Tuolloin yritti idean kehittäjä, Tord Wadell myydä ideaansa useille yrityksille, mm. Saab-Scanialle. Useiden vaikeuksien jälkeen päätti Saab-Scania ryhtyä tiiviiseen yhteistoimintaan Teknicus Engineering-nimisen yrityksen kanssa ja lähteä kehittämään ajatusta automaattisesta särmäyskoneesta. Lisäksi ostettiin vielä pääosa Tement AB:stä ja muutamasta muusta yrityksestä. Särmäysautomaatin suunnittelua ja kehittämistä varten muodostettiin näistä uusi yritys, jonka nimeksi tuli SAAB-tement AB.



Automaattisen tietokoneohjatun särmäyssysteemin kehittäminen aloitettiin 1973 ja jo seuraavana vuonna sitä esiteltiin Totem Equipmentin järjestämässä sahalaivosseminaarissa Pohjois-Amerikassa /23/. Ensimmäinen asennus tehtiin Ruotsissa Limmaredissä toukuu-kuussa 1976 ja toimituksia oli v. 1977 loppuun mennessä tehty seitsemän kappaletta. Tilauskanta ja laitteen markkinoimismahdollisuudet näyttävät hyviltä /6/.

#### 4.2.2 Tavoitteiden asettelu

SAAB-tement AB:n tavoitteet särmäysautomaatin toiminnalle olivat olennaisesti samat kuin ne, jotka esitettiin jo luvussa 4.1.2. Tässä yhteydessä tyydyttäänkin vain viittaamaan em. lukuun.

#### 4.2.3 Toteutus

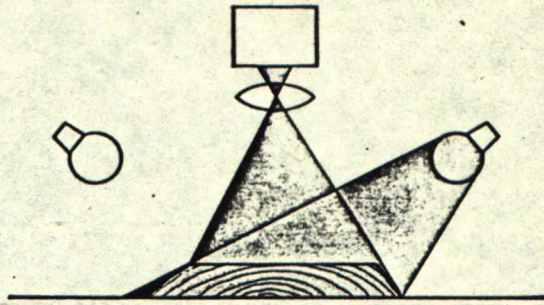
SAAB-tementin särmäysautomaatista ei toistaiseksi ole esitelty toisistaan eroavia versioita, vaan laite on pysynyt samanlaisena ensiesittelystään asti. Seuraavassa luodaan yleiskatsaus automaatin toimintaan.

##### Mittaus

Automaattinen mittaus perustuu optiseen järjestelmään, jolla voidaan, kuten A. Ahlström Oy:n laitteellakin mitata lauta-aihion vajaasärmän suuruus, mutta ei muuta. Täten jää automaattisen särmäyksen eräs pää-tavoite, aihion laadun määrittäminen myös SAAB-tementin laitteella saavuttamatta. Särmääjä antaa tietojenkäsittelyjärjestelmälle tiedon aihion laadusta painonapeilla. Tällöin laskentayksikkö tietää, minkä laatuista lautaa tarkasteltavasta aihioista on mahdollista korkeintaan saada eikä sellaisten kombinaatioiden testausta yritetä, mitkä rajautuvat pois laatutiedon perusteella.



Seuraava kuva selvittää vajaasärmän mittauksen periaatetta.



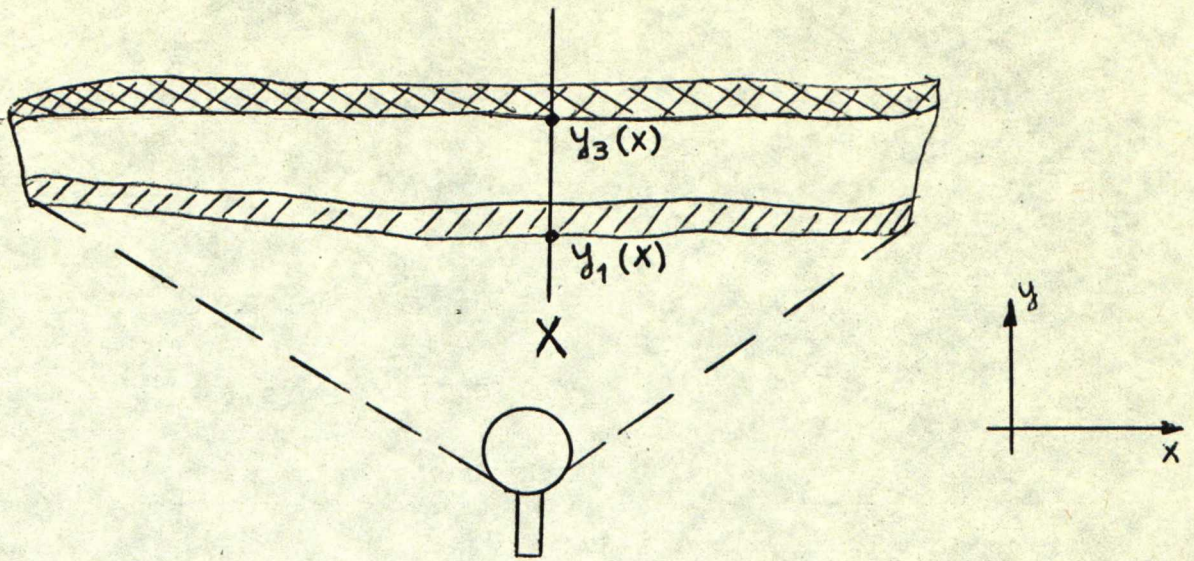
Kuva 24. Vajaasärmän mittausperiaate SAAB-tementin laitteessa.

Aihio valaistetaan toiselta sivultaan lamppurivistöllä, jolloin vastakkaisen puolen vajaasärmä jää varjoon kun taas laudan lape ja toinen vajaasärmä ovat valaistut.

Aihiota katsotaan ylhäältä päin ns. line scan-kameralla, johon on filmin paikalle sijoitettu valodiodirivi. Valodiodit ilmaisevat, mitkä kameran näkemäalueen kohdat ovat valossa ja mitkä varjossa.

Valaisemalla ahiota toiselta sivulta saadaan siitä seuraavan kuvan osoittamat kaksi koordinaattia.

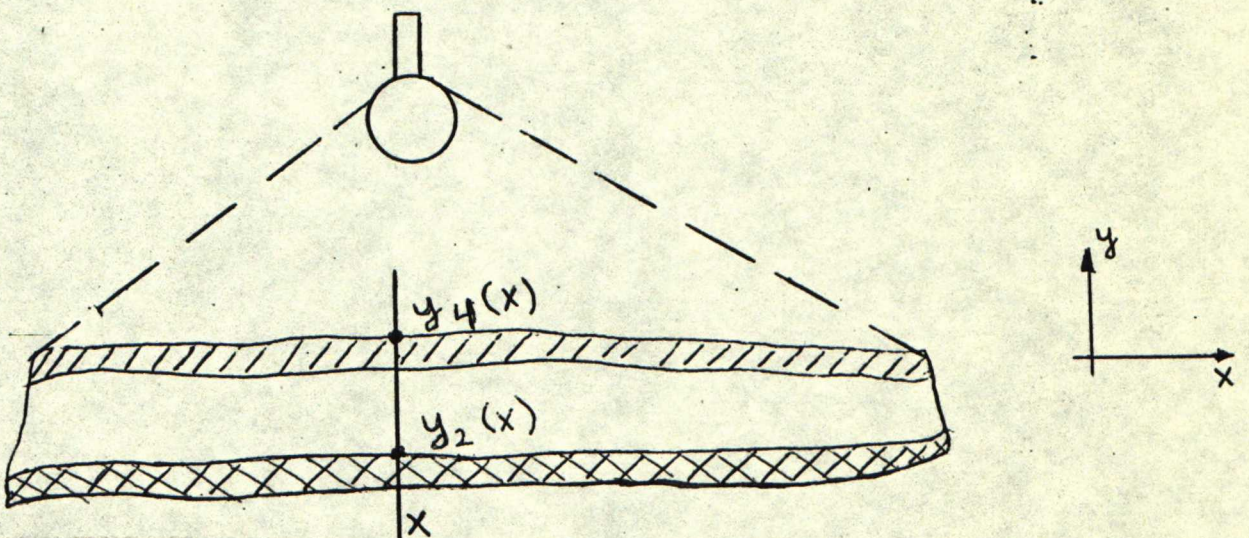




Kuva 24. Valaisun 1. vaihe.

Koordinaatti  $y_1(x)$  ilmoittaa  $y$ -suuntaisen aihion alkamiskohdan, joka vastaa pituuskoordinaattia  $x$ . Vastaavasti  $y_3(x)$  kertoo, mistä alkaa vajaasärmä ko. poikkileikkauksen kohdalla. Alemman vajaasärmän alkamiskohtaa ja ylemmän päättymiskohtaa eli aihion loppua ei sen sijaan tiedetä.

Tämän jälkeen aihio valaistaan toiselta puolelta.



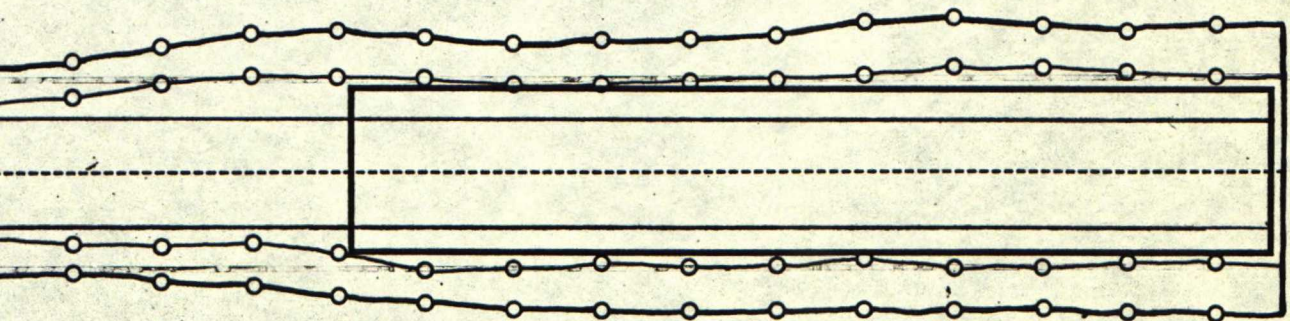
Kuva 25. Valaisun 2. vaihe.



Nyt saadaan puuttuvat koordinaatit  $y_2(x)$  sekä  $y_4(x)$  ja kustakin poikkileikkauksesta, joita mitataan tässä systeemissä 10 cm:n välein, saadaan samat tiedot kuin kuvassa 20 aiemmin jo esitettiin toisen särmäys-automaatin yhteydessä. Mittaustulokset siirretään minitietokoneelle, joka suorittaa niiden jatkokäsittelyn. Mittaukseen kuluu kaikkiaan aikaa hieman alle kaksi sekuntia.

### Optimointi

Mittauksen jälkeen on tietokoneella käytössään aihioista 100 mm:n välein mitatut reunan ja vajaasärmän alkamis- kohdan koordinaatit. Aihiolle haetaan nyt keskiviiva sovittamalla aihiota approksimoivaan koordinaattijoukkoon suora, joka mahdollisimman tarkoin kulkee näiden keskellä. Tämän suoran suhteen sijoitetaan sitten symmetrisesti eri levyisiä lautavaihtoehtoja. Sovitus tehdään eri laatuluokille siten, että otetaan huomioon käyttäjän antamat vajaasärmärajoitukset eri tapauksissa. Eri leveys- ja laatukombinaatioille saadut pituudet talletetaan muistiin. Seuraava kuva selventää asiaa. Keskiviiva on merkitty katkoviivalla ja mittaustuloksia vastaavat pisteet pienillä ympyröillä. Valittavaksi tulee kuvan esittämässä tapauksessa joko leveä, mutta lyhyt tai kapea, mutta pitkä lauta.



Kuva 26. Eräästä aihioista saatavat särmäysvaihtoehdot.

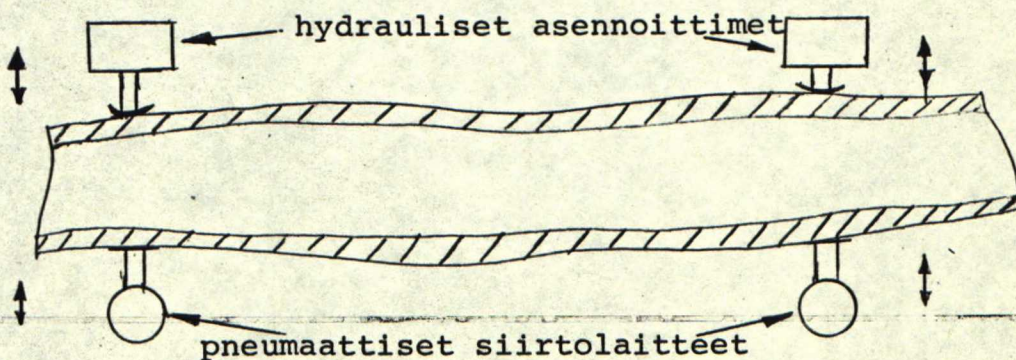


Optimisärmäysvaihtoehdon valinta riippuu käyttäjän antamista dimensio- ja laatukohtaisista arvosuhteista. Optimointiohjelma painottaa kutakin särmäysvaihtoehtoa sen pituudella ja arvosuhteella, jolloin tulokseksi saadaan vertailuluku jokaista vaihtoehtoa kohden. Näistä valitaan suurin, jolle lasketaan särmäystä varten suuntaus ja sahan leveysasetearvot.

### Särmäys

Kun optimivaihtoehto on saatu selville, kuljetetaan aihio suuntauspenkille, jossa se suunnataan oikeaan kulmaan särmäyssahoihin nähden siten, että aihiolle laskettu keskiviiva osuu oikeaan kohtaan.

Aihion suuntaus tapahtuu kahdella hydraulisesti asennettavalla asennoittimilla, joilla tehdään varsinainen suuntaus, sekä pneumaattisilla, vastakkaiselta suunnalta vaikuttavilla siirtolaitteilla, joilla varmistetaan se, että aihio on kiinni hydraulisylin-tereissä koko asennoituksen ajan.



Kuva 27. Aihion asennoitus.



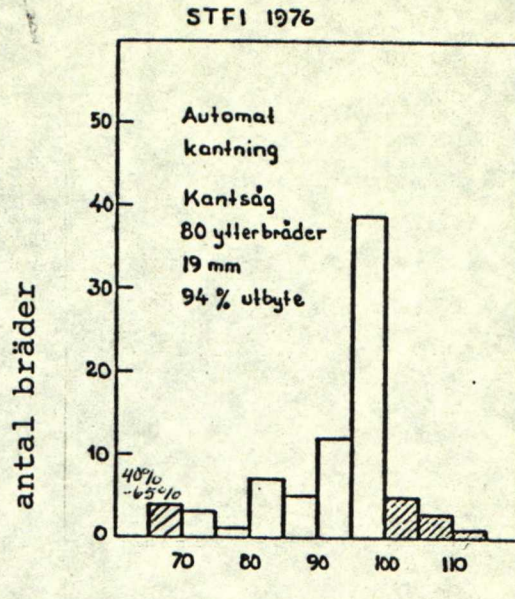
Samalla kun aihion asennoitus on käynnissä säädetään sahojen terät oikeaan leveyteen. Tämän jälkeen siirtolaitteet ja asennoittimet irroitetaan ja aihio ajetaan sahanterien läpi, jolloin siitä syntyy lauta ja kaksi rimaa, jotka putoavat kuljetusradalta. Särämäyskursoa käytettäessä rimat haketetaan välittömästi.

#### 4.2.4 Tulokset

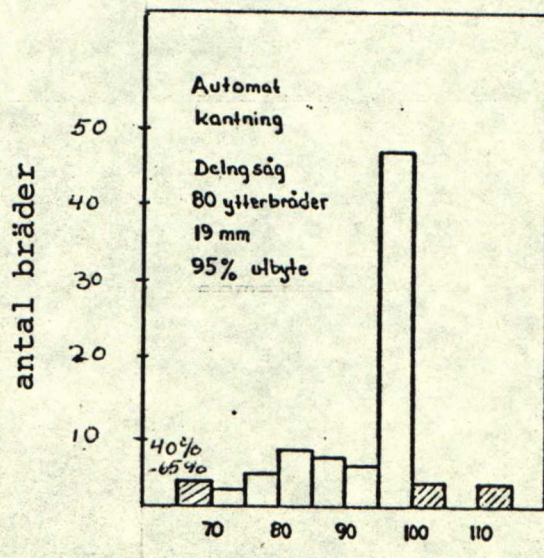
Luvussa 4.1.4 todettiin, että A. Ahlström Oy:ssä kehitetty särmäysautomaatti on toimintansa puolesta vastannut sille asetettuja odotuksia. Myös SAAB-tement AB:n automaatista on saatu myönteisiä kokemuksia. Laite on osoittanut toimintavarmuutensa käytännössä ja sen toiminnasta on tehty useita tutkimuksia. Svenska träforskningsinstitutet /19/ on tehnyt laajahkon tutkimuksen, jossa pyrittiin selvittämään, miten suuri oli keskimääräinen saantoprosentti. Ko-keessa optimoitiin erikseen esi- ja jakosahasta tulleet aihioita, joita tutkittiin yhteensä 200 kappaletta. "Teoreettinen maksimisaanto" eli 100 %:n saanto määritettiin samantyyppisellä mittauskehyksellä kuin oli käytössä aiemmin mainitussa Bångin tekemässä tutkimuksessa. Tulokset muodostuivat kuvien 29 ja 29 kaltaisiksi.

Ensimmäiseksi kiinnittää huomiota se, että kuvissa esiintyy yli 100 %:n saantoja. Kyseessä ovat tapaukset, jolloin "teoreettisen maksimisaannon" määrittelyltä on jäänyt todellinen optimivaihtoehto havaitsematta, mutta särmäysautomaatin optimointiohjelma on sen kuitenkin havainnut. Jälleen voidaan toistaa luvussa 4.1.4 mainittu toteamus teoreettisen maksimisaannon eksaktin määrittämisen vaikeudesta.





Kuva 28. Esisahauksesta saatujen aihoiden optimointi.



Kuva 29. Jakosahauksesta saatujen aihoiden optimointi.



Toinen mielenkiintoinen seikka kummassakin kuvassa on se, että muutaman aihion on automaatti optimoinut varsin virheellisesti (40 % - 65 %). Nämä ovat olleet rajatapauksia, jolloin laudan keskiosassa on ollut tiimalasin muotoinen koventuma ja automaatin laskema keskiviiva on kulkenut siten, ettei sen suhteen ole enää lauttaa voitu sijoittaa, vaan aihio olisi pitänyt katkaista noin puolivälistä. Käsini optimia hakemalla sen sijaan olisi näissä rajatapauksissa vielä voitu särmätä täysmittainen lauta.

Kokonaisuutena on kuitenkin todettava, että saanto-prosentti on keskimäärin varsin korkea. Tutkimuksen mukaan on sivulaudoille saatu saanto keskimäärin 94 % - 95 %. SAAB-tement lupaa laitteelleen 92 %:n saannon, mitä tämän tutkimuksen perusteella voidaan pitää realistisena.

Särmäysautomaatin nopeudeksi on saatu noin 15 lautaa minuutissa. Luku on jonkin verran pienempi kuin A. Ahlströmin laitteessa. Käytetyt mittaus- ja laudan kuljetustekniset ratkaisut rajoittanevat nopeutta niin, ettei sitä ainakaan ratkaisevasti voida nostaa.

#### 4.2.5 Tulevaisuus

SAAB-tement AB:n särmäysautomaatti on pitkän tuotekahityksen tulos. Näyttääkin siltä, että laitetta aiotaan toistaiseksi markkinoida sellaisena kuin se julkisuuteen on saatettu eikä suurempia muutoksia ainakaan välittömästi ole odotettavissa. Mitään tietoa ei ole ollut saatavissa siitä, aikooko SAAB-tement kehittää särmäysautomaattiinsa laitetta, jolla aihion laatu voitaisiin määritellä automaattisesti muiden ominaisuuksien kuin vajaasärmän suhteen.



#### 4.3 Yhteenvedo

Edellä on käsitelty kahden eri valmistajan särmäysautomaatteja. A. Ahlström Oy:ssä on ollut kehitteillä useampia särmäysautomaattiversioita, kun taas SAAB-tement AB on toistaiseksi esitellyt vain yhden. Ahlströmin laitteissa perustuu lauta-aihion muodon ja vajaasärmän mittaus aihion pinnalle heijastettavaan lasersäteeseen, jota tutkitaan detektoreilla. SAAB-tementin laitteessa valaistaan aihio vuorotellen kummaltakin sivulta voimakkailla lampuilla, jolloin vajaasärmät saadaan näkyviin valon ja varjon raja-kohtien avulla.

Kumpikin laite optimoi rahallista saantoa, joka riippuu käyttäjän antamista lautojen hintasuhteista.

Ainakin A. Ahlström Oy:ssä on kehitetty särmäysautomaattia, jolla voidaan myös aihion laatu (ts. oksien yms. määräämä laatuluokka) määrittää automaattisesti.

Nykyisissä laitteissa särmääjän tehtävänä on edelleen aihion laadun määrittäminen ennen automaattista mittausta ja särmäystä.

Tässä luvussa kuvattujen automaattien lisäksi on särmäysautomaattia kehitetty ainakin Kockums AB:ssä ja Iggesundin sahalla Ruotsissa, missä automatiikan suunnittelusta on vastannut suomalainen OY DECON AB. Kockumsin laitteessa mittaus perustuu infrapunasäteeseen käyttöön ja erikoisuutena on, ettei lauta-aihiota tarvitse kääntää siten, että vajaasärämä on ylöspäin, kuten kaikissa muissa systeemeissä, vaan mittaus voidaan tehdä riippumatta aihion asennosta. DECON on kehittänyt systeemeihinsä automaattisen laadunmääri-



tyksen ja on siis eräässä mielessä edistyksellisin kuvatuista laitteista. Kumpikin automaatti on tätä kirjoitettaessa vielä prototyyppiasteella, eikä niiden toiminnasta ole vielä saatavissa tietoa.

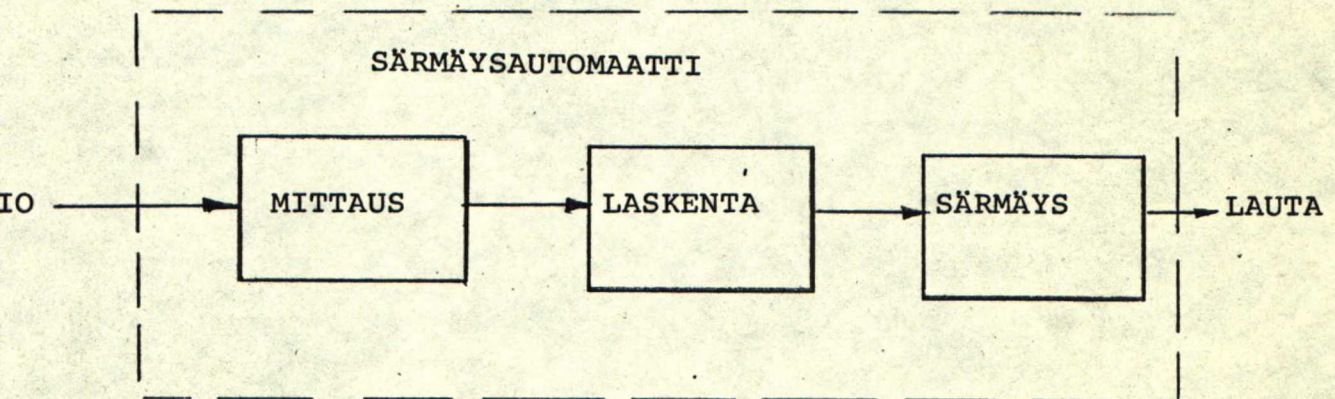


## 5. AUTOMAATTISEN SÄRMÄYKSEN TIETOJENKÄSITTELYSTÄ

Aiemmissa luvuissa on tarkasteltu sahalaitoksen toimintaa ja särmäystä yleisesti sekä automaattisesta särmäyksestä eräiden toteutettujen ratkaisujen pääpiirteitä, erityisesti aihion mittauksessa käytettyjä menetelmiä. Automaattisärmäyksen tietojenkäsittelyä ei sen sijaan ole toistaiseksi käsitelty. Tässä luvussa pyritään lyhyesti määrittelemään tärkeimmät särmäysautomaatteihin liittyvät tietojenkäsittelytehtävät. Luvussa 6 tullaan tarkastelemaan näiden tehtävien toteutusta.

### 5.1 Särmäyksen optimointi

Särmäysautomaatin toiminta voidaan kaavamaisesti esittää seuraavalla kuvalla.



Kuva 30. Automaattisärmäyksen vaiheet.

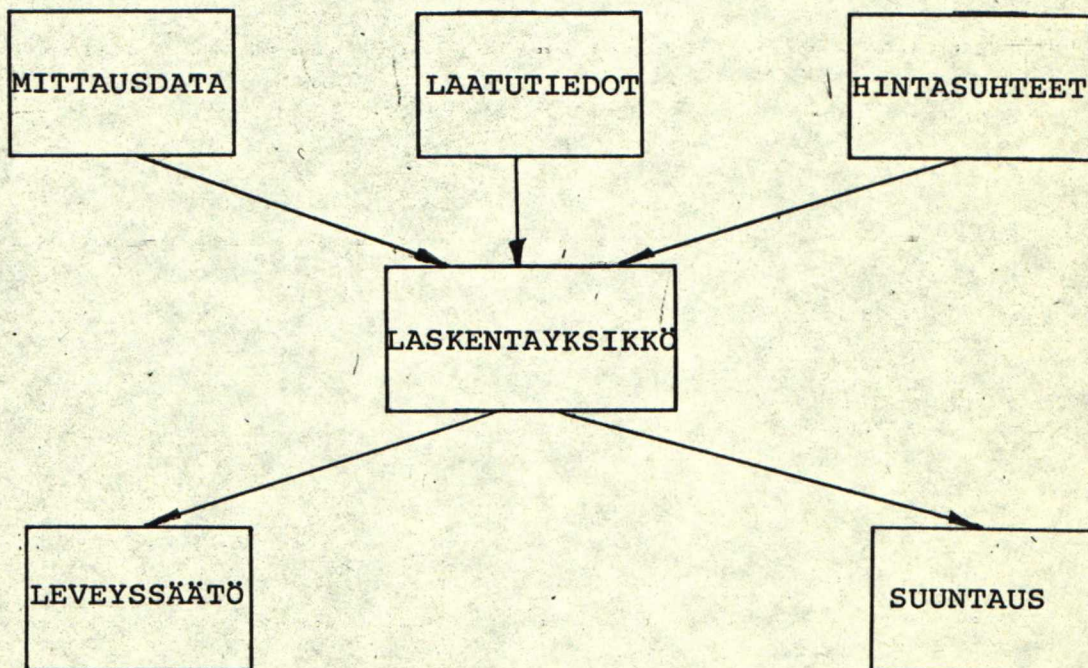
Aihio tulee mittausasemalle, jossa sen muoto mitataan ja tulokset muunnetaan tietokoneella käsiteltävissä olevaan muotoon. Laskentaohjelma saa lähtötietoinaan laudasta saadut mittaustulokset ja hakee niiden



avulla parhaan aihiesta saatavissa olevan lauta-  
vaihtoehdon. Optimisärmäysvaihtoehdon tiedot siirre-  
tään särmäyslaitteelle, joko pyöröahaparille tai  
särmäyskursolle (kts. luku 1), joka tekee aihiesta  
halutun tyyppisen laudan.

Aihion optimointiin ei kuitenkaan riitä laudasta  
saatava mittaustieto. Lisäksi tarvitaan tiedot eri  
vaihtoehdoista, ts. mahdollisista leveyksistä ja  
laatuluokista sekä niissä sallittavista vajaasärmien  
määrästä, koska automaattisärmäyksen tavoitteeksi  
on asetettu laudan arvon eikä puumäärän maksimointi.

Tuloksena optimoinnista saadaan särmäystä varten  
kaksi tietoa: 1) särmäyslaitteen leveysasetus,  
2) aihion suuntaamistiedot.



Kuva 31. Mittaukseen ja optimointiin liittyvät  
syöttö- ja tulostustiedot.

Laatutiedot eli vajaasärmien sallitut osuudet laudasta  
syötetään pysyväisluonteisesti tietokoneelle.



Hintasuhteet ovat yleensä vakiotyyppistä tietoa, mutta muutoksiin on kuitenkin varauduttava. Mittausdata vaihtelee luonnollisesti lautakohtaisesti ja on siis jatkuvasti muuttuvaa.

Laskentayksiköksi on käytännön sovellutuksissa valittu joko mikro- tai minitietokone. Se suorittaa yhteen lautaan liittyvän tietojenkäsittelyn seuraavalla periaatteella:

- 1) Haetaan laatutietotaulukosta yhden laatu/leveys-kombinaation vajaasärmätiedot.
- 2) Tutkitaan mittausdatan avulla, kuinka pitkä lauta aihioista saataisiin tarkasteltavaa laatua ja leveyttä. Pituus talletetaan muistiin.
- 3) Jos kaikkia mahdollisia kombinaatioita ei ole vielä tarkasteltu, mennään kohtaan 1, muuten kohtaan 4.
- 4) Lasketaan eri vaihtoehdoille arvot hintataulukon ja kohdassa 2 saatujen pituuksien avulla.
- 5) Valitaan saaduista arvioista suurin.
- 6) Lasketaan saatua optimisärmäysvaihtoehtoa vastaavat särmäyslaitteen ohjaustiedot ja lähetetään ne särmäyslaitteelle.
- 7) Siirrytään kohtaan 4, kun seuraavan laudan mitaustiedot ovat saatavissa.

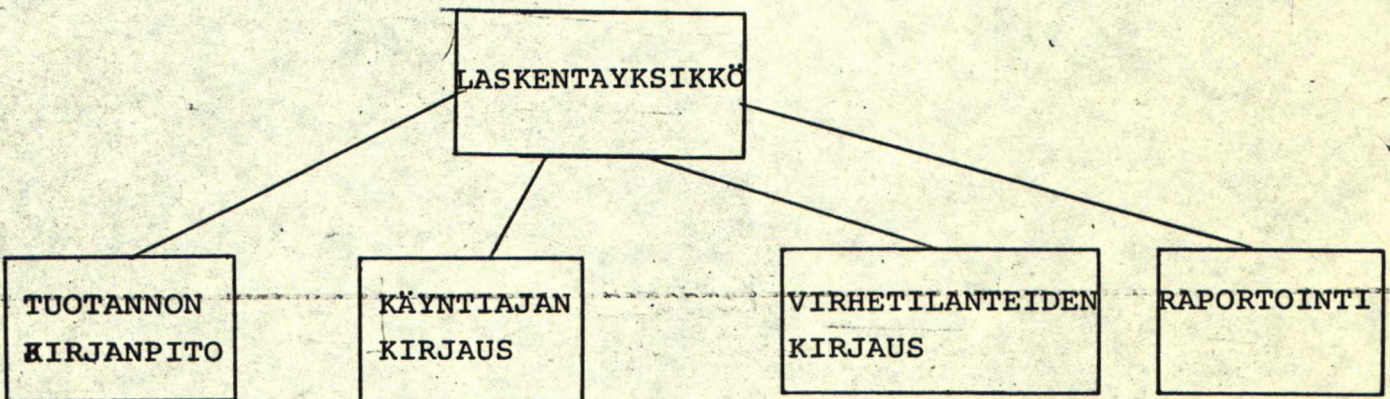
Tuloksena optimoinnista saadaan leveysasetus- ja aihion suuntaamistiedot, jotka siirretään lautakohtaisesti särmäyslaitteelle.



Datan muotoon ja tietojenkäsittelyn yksityiskohtiin ei tässä yhteydessä puututa, vaan tarkastelu tehdään luvussa 6.

## 5.2 Muu automaattisärmäykseen liittyvä tietojenkäsittely

Edellä esitettiin lyhyesti automaattisärmäyksen tietojenkäsittelyn ne osat, jotka liittyvät mittaukseen sekä optimointiin. Laskentayksikölle voidaan antaa myös muita tehtäviä. Tällaisia olisivat tyypilliset erilaiset kirjanpítotehtävät sekä käyntiaikojen ja muiden tarkkailua vaativien tehtävien kirjaus ja tulostus.



Kuva 32. Esimerkkejä mittauksen ja optimoinnin ulkopuolisista tietojenkäsittelytoiminnoista.

Tuotannon kirjanpidosta käy selville dimensio- ja laatuluokkakohtaisesti, miten paljon automaattilla on syntynyt tuotantoa tietyn ajanjakson kuluessa. Tuotanto kannattaa tallettaa sekä kappale- että metrimääräkohtaisesti.



Käyntiajan kirjauksella voidaan selvittää jälkikäteen, miten kauan särmäyslinja on ollut käynnissä jonkin jakson, esim. työvuoron kuluessa.

Virhetilanteet olisi syytä saada kirjatuiksi virhetyyppikohtaisesti siten, että tietyn tyyppisen virheen esiintymismäärä sekä yhteiskesto aika olisivat tiedossa.

Raportoinnilla tarkoitetaan proseduuria, jolla edellä luetellut kirjaustoimet saadaan tulostetuiksi. Raportointi voisi tapahtua esim. selväkielisenä suoraan päätteelle. Jos sahan kokonaisohjauksesta olisi huolehtimassa keskustietokone, voitaisiin tulostus ohjata sille.

Edellä luetellut kirjaus- ja raportointitehtävät eivät ole välttämättömiä särmäysautomaatin toiminnalle, mutta selventävät huomattavasti särmäysautomaatin käyttöä ja tarkkailua sekä helpottavat sahälaitoksen tuotannonsuunnittelua ja -ohjausta.



## 6. TIETOKONEOHJATUN SÄRMÄYSSYSTEEMIN SUUNNITTELU

### 6.1 Särmäyssysteemin yleiskuvaus

Seuraavassa esitetään erään käytännön särmäyssysteemin suunnittelu. Systeemi on vielä suunnitteluasteella, mutta eräitä siinä käytettyjä ratkaisuja on kokeiltu käytännössä tietokonesimuloinnin ja prototyyppien avulla.

Systeemi on pitkälle automatisoitu. Automatisointi toteutetaan käyttäen toisaalta edistyksellisiä ratkaisuja systeemin mekaanisessa toteutuksessa, sekä toisaalta modernia tietojenkäsittelytekniikkaa särmäyksen ohjauksessa.

Aluksi selvitetään, miten lauta-aihiot jaetaan eri särmäyskoneille ja miten särmäysalue pääpiirteissään tullaan organisoimaan.

Särmäysalueella tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä sahalaitoksen osaa, jossa särmäys tapahtuu. Täten särmäysalueeseen kuuluvat

- 1) lauta-aihioita ja valmiita lautoja liikuttavat kuljettimet,
- 2) automatiikkaan kuuluvat mittaus-, tietojenkäsittely- sekä ohjauslaitteet,
- 3) varsinaiset särmäyskoneet.

Särmäysalueen organisoinnilla ymmärretään tapaa, millä em. kolmesta osatekijästä muodostetaan sellainen kokonaisuus, että sillä on mahdollista hoitaa kaikkien tukkisahalta saatavien aihoiden särmäys.

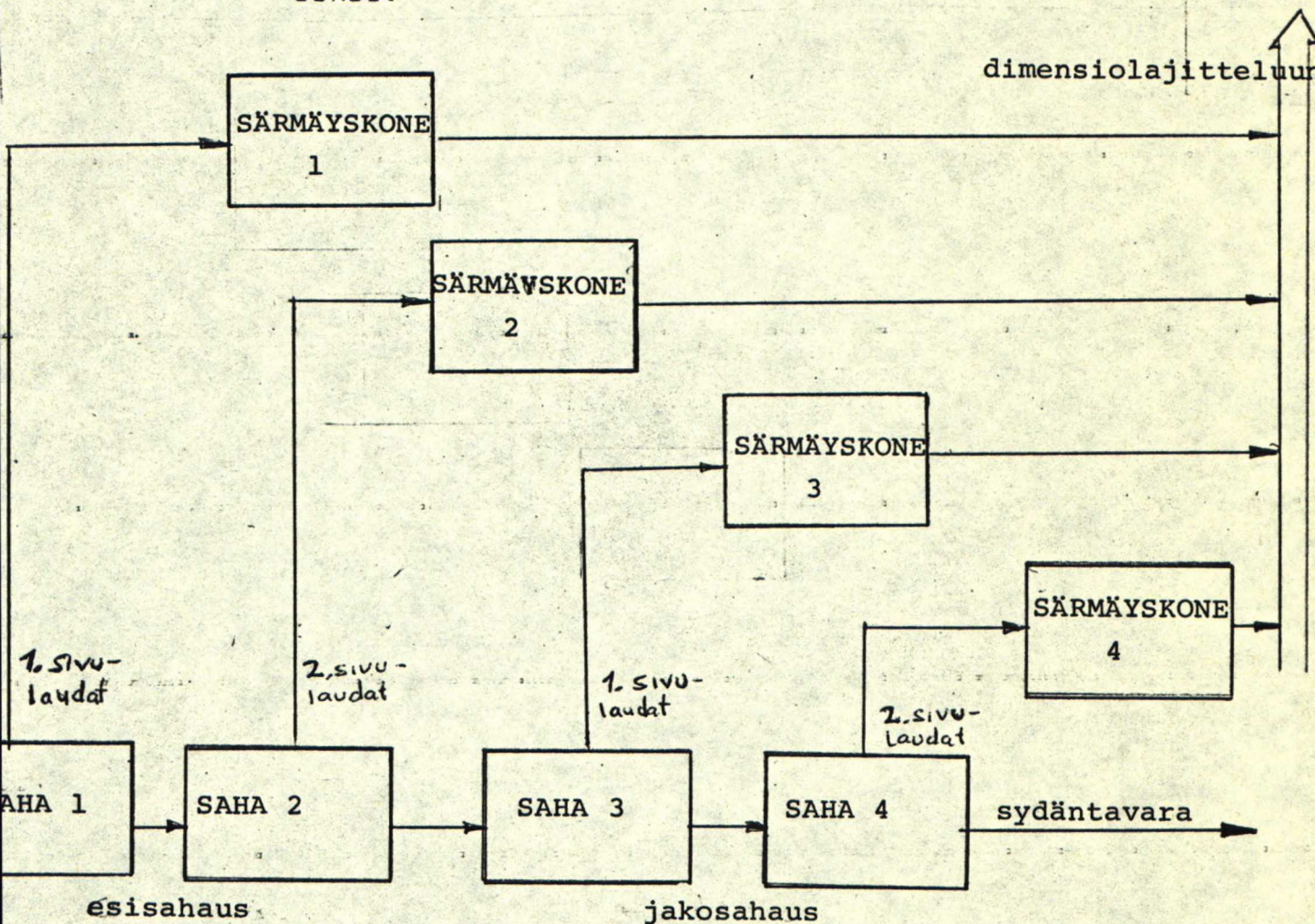
Särmäysalueen organisointitapa on täysin sahakohtainen asia. Se voi riippua esim. käytettävissä olevan tontin



tai tehdashallin muodosta ja koosta, sahauslinjojen määrästä ja kapasiteetista ja suunnitellusta automaatioasteesta.

Tässä yhteydessä käsiteltävän särmäysalueen organisoinnissa on päädytty sellaiseen periaateratkaisuun, että tukinsahauslinjoja on yksi ja särmäysalueella aihiot käsitellään neljällä särmäyskoneella.

Yleiskuva särmäysalueesta muodostuu kuvan 33 mukaisesti.

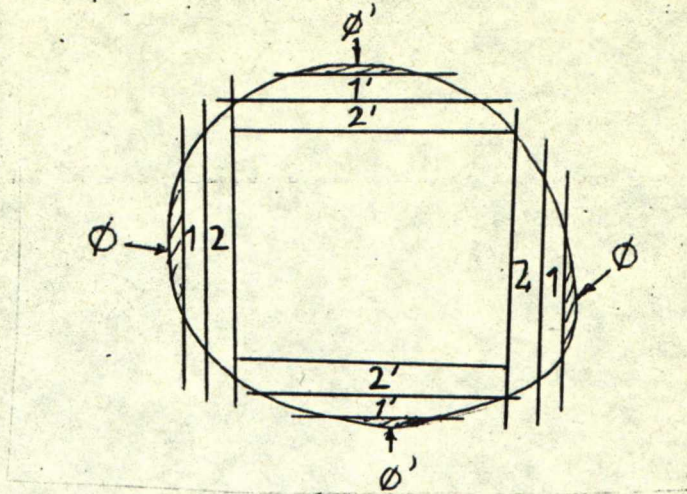


Kuva 33. Särmäysalueen kaavakuva.

Seuraavassa tarkastellaan, miten sahauslinjalta tulevat aihiot jakautuvat eri särmäyslaitteiden kesken.



Tukin sahaus tapahtuu kuvan 34 mukaisella jo aiemmin esitetyllä tavalla.



Kuva 34. Tukin sahauksesta saatavat sivulaudat.

Kuvassa on käytetty seuraavia merkintöjä:

- Ø : tukin pinnasta aluksi sahattava haketettava aines
- 1 : esisahauksen ensimmäiset sivulaudat
- 2 : esisahauksen toiset sivulaudat
- Ø' : pelkan hakeaines
- 1' : jakosahauksen ensimmäiset sivulaudat
- 2' : jakosahauksen toiset sivulaudat

Kaikkein pienimmissä tukkiluokissa saatetaan toiset sivulaudat jättää sahaamatta ja kaikkein paksuimmissa vastaavasti saatetaan sahata kolmannet sivulaudat ainakin jommassa kummassa suunnassa. Näitä erikoistapauksia ei kuitenkaan käsitellä tarkemmin, vaan oletetaan, että sahaus tapahtuu aina kuvan 34 esittämällä tavalla.



Särmäyslaitteiden määrä voi vaihdella riippuen mm.

- tukin sahauksen ja särmäyslaitteiden kapasiteettisuhteesta,
- siitä, halutaanko systeemiin varmistuksia ja kuinka paljon,
- tilan käyttömahdollisuuksista,
- hintatekijöistä.

Taloudellisesti edullisinta olisi särmätä kaikki aihiot yhdellä särmäsahalla tai -kursolla. Tämä vaihtoehto ei kuitenkaan ole järkevä, koska särmäysalue muodostuisi pahaksi pullonkaulaksi sahan toiminnalle. Tukin käsittelynopeus on jonkin verran yli kymmenen tukkia minuutissa mikä merkitsee, että särmättäväksi tulee n. 50-60 sivulauta-aihiota minuutissa. Nykyisellä sahaustekniikalla ei voida mekaanisten rajoitusten vuoksi särmätä nopeammin kuin n. 3-3,5 metriä sekunnissa. Tämä merkitsee noin neljääkymmentä lautaa minuutissa, jos niiden keskipituudeksi oletetaan viisi metriä. On kuitenkin selvää, ettei lähellekään näin suuria nopeuksia voida käytännössä päästä, koska joka aihiolle täytyy laskea omat suuntaus- ja leveysasetuksensa. Suuntaus voidaan tosin tehdä samaan aikaan kun edellistä aihiota särmätään, mutta särmäysterien leveysasetusta ei luonnollisesti voida muuttaa, ennenkuin edellinen aihio on kokonaan särmätty. Terien leveysasetus kestää nykyisellä hydraulisella servoasetusmenetelmällä tyypillisesti n. 0,4 s - 0,7 s. Tämä rajoittaa tuntuvasti käytännössä saavutettavissa olevaa särmäysnopeutta.

Edellä todettiin jo, että yhden särmäyslaitteen käyttö kaikkien aihioden särmäämiseksi ei voi tulla kysymykseen kapasiteettipulan vuoksi. Sama koskee myös kahden särmäyskoneen käyttöä. Kummallekin tulisi noin kolmenkymmenen aihion särmäys minuutissa, mikä



saattaisi teoriassa onnistua, mutta pelivaraa jäisi niin vähän, että vika-alttius olisi suuri.

Kolmen aseman käyttö olisi mahdollista kapasiteetin riittävyys suhteen, mutta varsinaista varakoneita ei tässäkään järjestelmässä olisi. Lisäksi systeemi olisi epäsymmetrinen, koska sivulautoja saadaan joka tukista neljä paria ja niiden jakaminen tasan kolmelle särmäyslaitteelle ei ole mahdollista ilman mutkikkaita erityisjärjestelyjä. Kolmen särmäyskoneen käyttö aiheuttaisi joillekin koneista kapasiteettipulaa ja toisille kapasiteetin käytön vajuusta.

Särmäyksen jakaminen neljälle särmäysyksikölle on monessa suhteessa ihanteellista. Yksittäisen koneen kuormitus pienenee ja samalla myös vikaantumistodennäköisyys. Jokainen sivulautapari voidaan ohjata omalle särmäyslaitteelleen, jolloin särmäyksessä voidaan haluttaessa käyttää tilastollisia optimointitietoja kullekin sivulautaparille erikseen.

Vikatilanteessa voidaan aihiot ohjata kolmelle särmäysyksikölle, kunhan vain huolehditaan siitä, että sopivat kuljetinvaihtoehdot ovat olemassa. Täten systeemin haavoittuvuus vikatilanteissa on huomattavasti pienempi kuin käytettäessä pienempää särmäyskonemäärää.

Haittapuolia neljän särmäysyksikön käytössä ovat luonnollisesti kalliimpi hinta, suurempi tilantarve ja monimutkaisempi ohjaus- ja tietojenkäsittelyjärjestelmä. Suurissa sahalaitoksissa tämän tyyppinen järjestely on kuitenkin useimmiten ainoa mahdollinen.



## 6.2 Tietojenkäsittelyjärjestelmän yleiskuvaus

### 6.2.1 Särmyssysteemin ohjausjärjestelmä

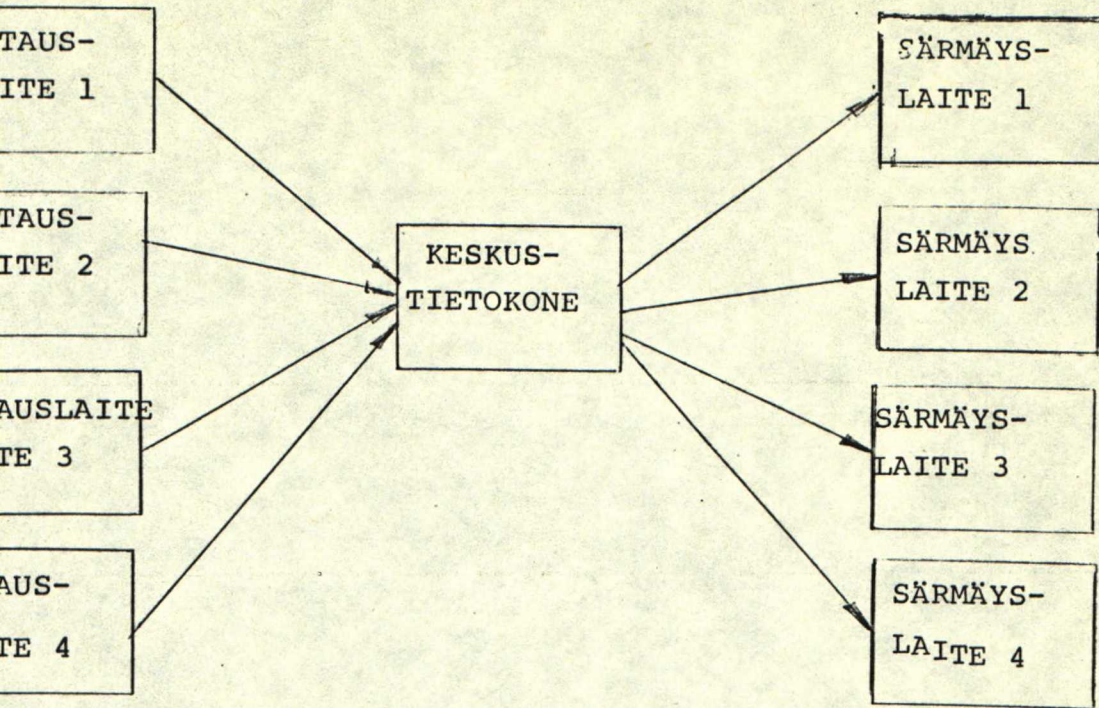
Särmyksen ohjausjärjestelmä on systeemi, joka antaa särmyskoneille ne impulssit, joita se toimintaansa varten tarvitsee. Ohjausjärjestelmän lähtötietoina ovat mittauslaitteelta saatavat tiedot särmättävän aihion muodosta. Tulosteina saadaan laudan suuntaus- ja leveys-tiedot sekä muuta tietoa, jota tarvitaan särmyprosessin läpiviemiseksi. Tällaisia ovat esim. impulssit, joilla aihiolle annetaan lupa siirtyä mittausasemaan tai särmysahaan. Ohjausjärjestelmään liittyy lisäksi tuotannon ja häiriötietojen raportointijärjestelmä, joihin palataan myöhemmin.

Särmyksen tietojenkäsittelyjärjestelmä voidaan toteuttaa kahdella periaatteessa toisistaan eriävällä tavalla.

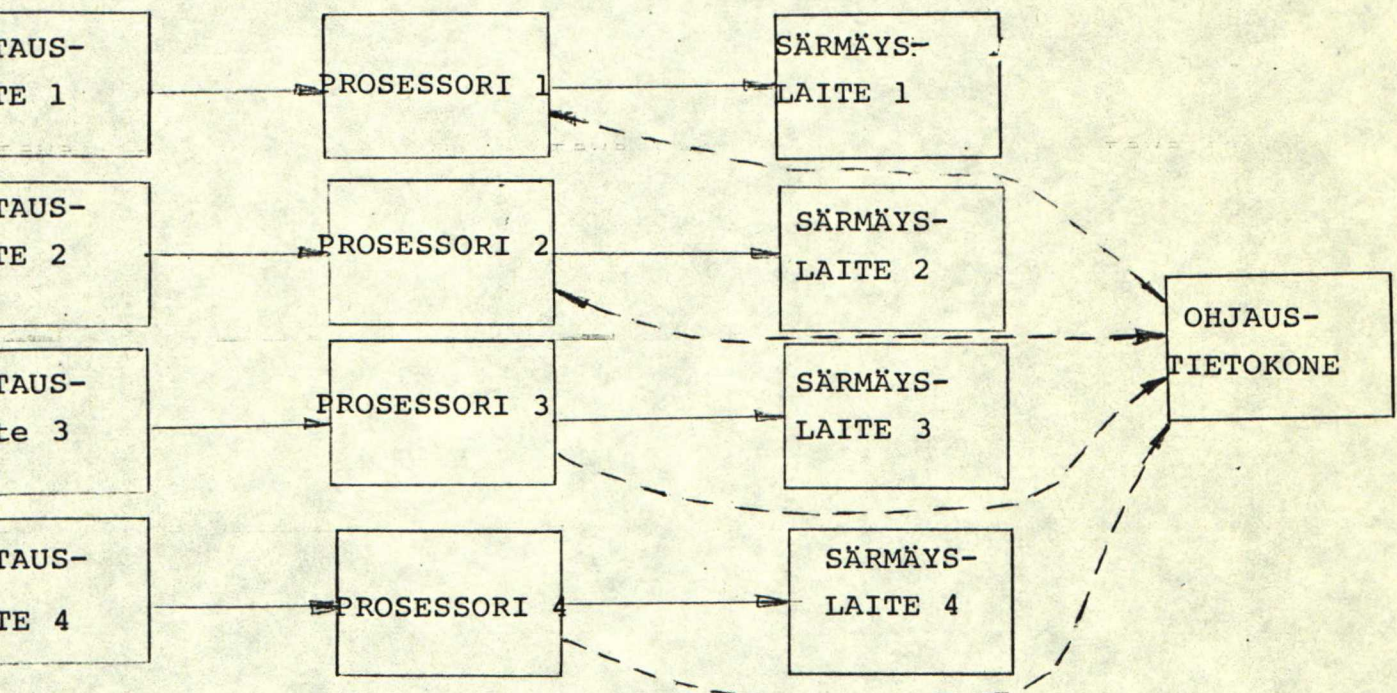
Keskitetyssä järjestelmässä kaikista mittauslaitteista saatavat tulokset ohjataan yhteen tietojenkäsittely-yksikköön, joka suorittaa mittauksien käsittelyn ja aihion optimisärmysvaihtoehdon hakemisen jokaiselle särmyslaitteelle erikseen ja palauttaa niille optimivaihtoehtoon liittyvät suuntaus-, leveysasetus- ja katkaisutiedot.

Hajautetussa järjestelmässä kuhunkin särmyslaitteeseen liittyy oma laskentayksikkönsä, joka hoitaa ainoastaan yhteen laitteeseen liittyviä toimintoja. Kaikki tiedonsiirto tapahtuu sisäisesti mittauslaitteelta laskentayksikölle ja sieltä edelleen särmyslaitteelle eikä yhden särmyslinja-automaatiikan tarvitse välttämättä tietää mitään ulkomaailman tai muiden särmyslinjojen tapahtumista.





Kuva 35. Keskitetty järjestelmä.



Kuva 36. Hajautettu järjestelmä.

Tarkasteltavassa systeemissä on päädytty siihen, että tietojenkäsittely toteutetaan hajautetusti, ts. jokaisella särmäyslinjalla on oma optimointi- ja ohjausjärjestelmänsä. Tähän on vaikuttanut mm. se, että kehittyneen mikroprosessoritekniikan hyväksikäyttö

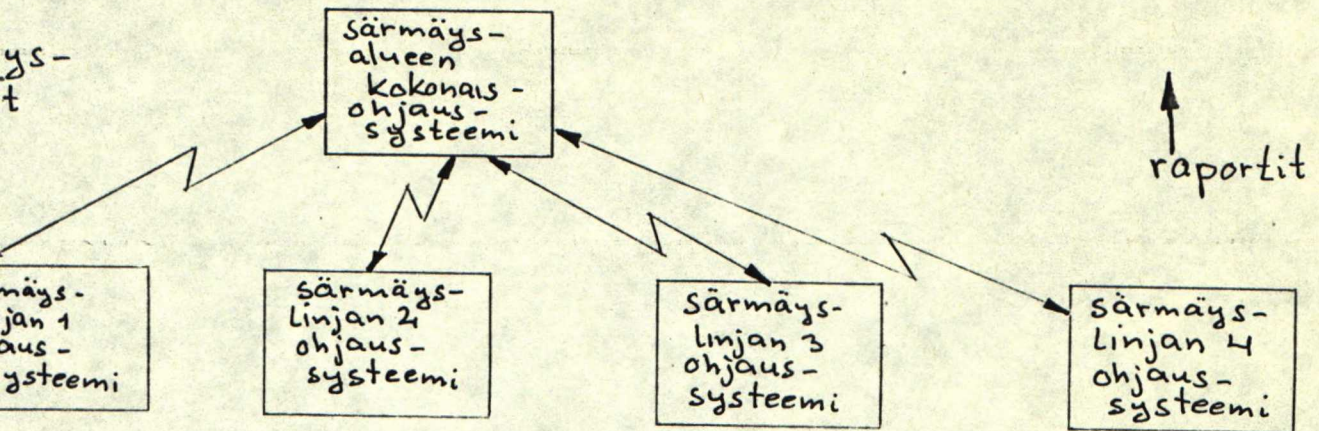


on ollut mahdollista ja ohjelmisto- ja laitteistoratkaisuja on ollut saatavilla. Yhden särmäyslinjan muodostama itsenäinen kokonaisuus on helpompi suunnitella ja testata kuin neljän linjan muodostama laaja järjestelmä. Lisäksi olisi mahdollisesti kuitenkin jouduttu hankkimaan toinenkin tietokone laajan tietojenkäsittelytarpeen vuoksi. Hajautettu, mikroprosessoreilla toteutettu järjestelmä on helposti laajennettavissa ja muutettavissa tarvittaessa, jolloin koko laitteistoa ei jouduta vaihtamaan systeemiin tehtävien muutosten yhteydessä.

Hajautettuun järjestelmään liittyy aina kommunikaatiota järjestelmän osien välillä. Hajautetun järjestelmän osien välistä tiedonsiirtoa tulaan käsittelemään jatkossa laajemmin (6.5).

Särmäyssysteemi toteutetaan siis siten, että jokaisella särmäyslinjalla on laitteisto, joka suorittaa optimoinnin itsenäisesti. On kuitenkin välttämätöntä, että on olemassa järjestelmä, jolla särmäysaluetta voidaan ohjata yhtenä kokonaisuutena. Tällaisella ohjaushierarkian ylämpänä olevalla systeemillä voidaan ohjata aihioista tehtävien lautojen dimensio- tai vajaasärmän suhteen tarkasteltavaa laatujakautumaa siten, että se toteuttaa sahan tuotannon suunnittelun tavoitteita omalta osaltaan. Samoin voidaan särmäysalueelta kerätä tietoa tuotannosta, häiriöistä jne. Tämän systeemin kautta tapahtuu myös tuotannon raportointi ja särmäysohjeiden muutos, kuten esim. tietyn laatu- tai dimensioluokan asetus etusijalle muihin nähden.





Kuva 37. Särmäyksen ohjaushierarkia.

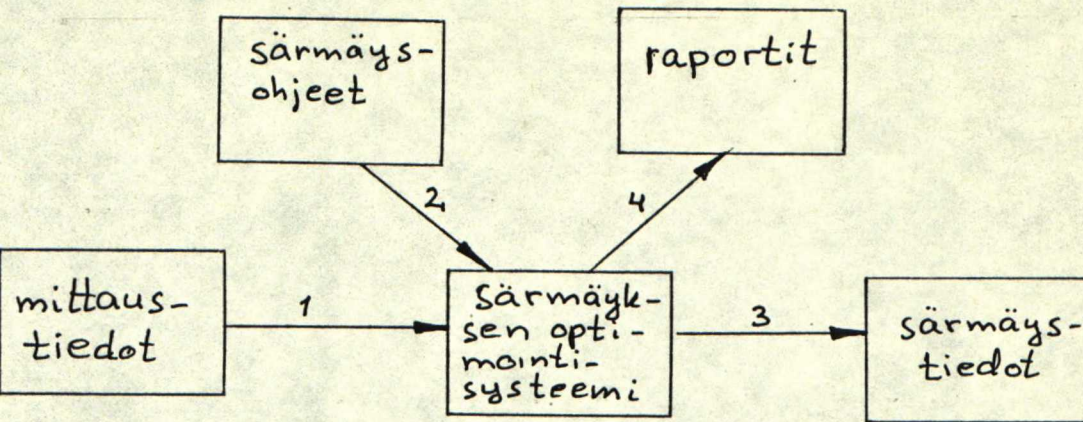
Särmäyksen ohjauksen yhteenvedona voidaan todeta seuraavaa:

- ohjaus tapahtuu kahdella hierarkiatasolla. Alemmalla tasolla ohjataan yksittäisen aihion särmäystä linjakohtaisesti ja ylemmällä koko särmäysaluetta yhtenä kokonaisuutena.
- särmäyssysteemin kommunikointi ulkomaailmaan tapahtuu yksinomaan ylemmän ohjaustason kautta.

#### 6.2.2 Syöttö- ja tulostustiedot

Särmäysautomaatissa, kuten yleensä kaikissa tietoa käsittelevissä systeemeissä, tiedon syntyminen, sen käsittely ja käsitellyn tiedon hyväksikäyttö tapahtuvat eri paikoissa. Seuraava kuva pyrkii havainnollistamaan niitä tietoliikenneliitännöitä, joita tarkasteltavassa systeemissä on.



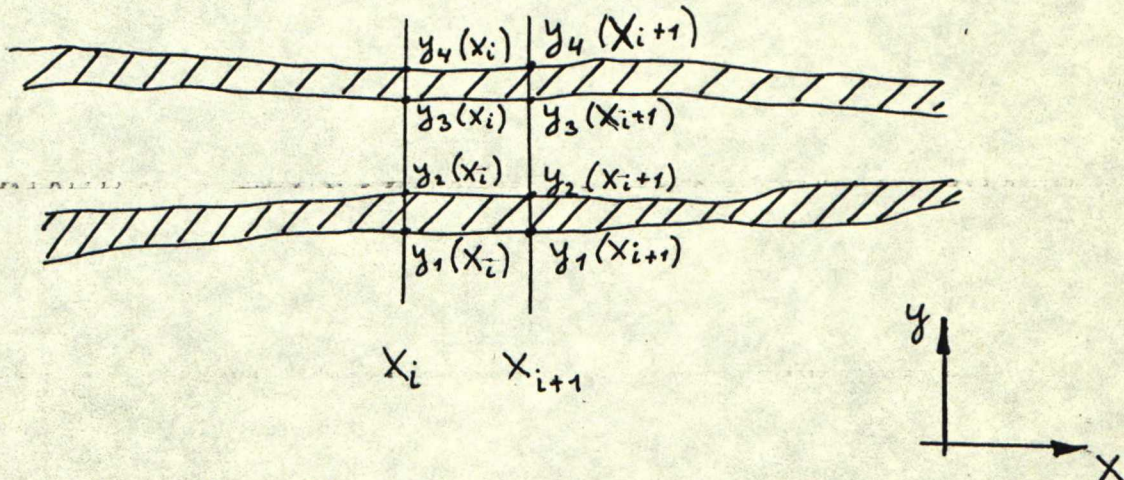


Kuva 38. Optimointisysteemin liitännät.

Särmäyksen atk-systeemin syöttö- ja tulostustiedot koostuvat neljästä osasta.

#### 1<sup>o</sup> Mittaustiedot

Mittauslaitteelta saadaan lauta-aihion muotoa kuvaavat koordinaatit, jotka mitataan määrävälein aihion pituussuunnassa. Systeemissä pyritään 1 mm:n erottelutarkkuuteen aihion leveyssuunnassa ja pituussuuntaan mitattavien poikkileikkausten väli on 5 cm.



Kuva 39. Aihiota kuvaavat koordinaatit.



Aihion maksimileveys on n. 350 mm ja koordinaatit  $y_j(x_i)$   $i=1,2,\dots$ ,  $j=1,2,3,4$  halutaan saada millimetreinä tai jollakin sopivalla tavalla skaalattuina, kuitenkin siten, että haluttu erottelutarkkuus säilyy. Mittaustulokset siirretään rinnakkaismuotoisena 8-linjaista väylää pitkin optimoinnista huolehtivan tietokoneen muistiin.

## 2<sup>o</sup> Särmäysohjeet

Särmäysohjeilla tarkoitetaan niiden tietojen joukkoa, joilla voidaan ohjata särmäyksen kulkua yhtenä kokonaisuutena. Ne ovat lähtökohtana aihioita optimoiville särmälinjakohtaisille systeemeille. Särmäysohjeisiin kuuluvat

- hintasuhdetiedot,
- vajaasärmätiedot.

Hintasuhdetiedoista selviää, miten arvokkaaksi tietyn laatuinen ja dimensioinen sahatavara arvostetaan. Optimointi tapahtuu laudalle lasketun arvon eikä puumäärän maksimoinnin periaatteella, jolloin hintasuhteesta riippuu, mitä vaihtoehtoa tulaan painottamaan eniten optimisärmäystä haettaessa. Hintasuhteiden muutoksilla voidaan ohjata särmäyksen laatu- ja dimensiojakautumaa.

Atk-systeemin on siis pystyttävä joustavasti siirtämään hintasuhdetaulukoita syöttölaitteelta tietokoneelle oikeassa muodossa. Yksittäisten muutosten tekeminen on oltava mahdollista.

Vajaasärmätiedoilla määritetään miten suuri vajaasärämä sallitaan eri laatuluokissa. Vajaasärmätietojen muutos on paljon harvinaisempaa kuin hintasuhteiden, mutta



kuitenkin mahdollista. Tämän vuoksi systeemissä on oltava mahdollisuus haluttaessa muuttaa vajaasärmien sallittua osuutta. Ensisijaisesti on voitava tarkastella vajaasärmän osuutta laudan poikittaissuunnassa, mutta myös vajaasärmän prosentuaalisen osuuden määrääminen laudan pituussuunnassa on aiheellista, mikäli se ei aiheuta kohtuutonta laskentatarpeen lisäystä.

### 3<sup>o</sup> Särmäystiedot

Särmäystiedot koostuvat seuraavista osista:

- aihion suuntaustiedot,
- leveysasete,
- latvan katkaisukohta,
- tyven katkaisukohta,
- dimensiotiedot,
- laatutieto.

Suuntaus- ja leveysasetetiedot siirretään ohjaamaan digitaalisesti aseteltavia suuntauslaitteita sekä särmäsahoja. Näiden tietojen avulla voidaan suorittaa varsinainen särmäys. Lisäksi täytyy diemensiolajitte- luun (vrt. luku 1) siirtää tieto siitä, mistä lauta on ajateltu katkaistavaksi sekä myös dimensio- ja laatutiedot, ellei niitä myöhemmin määritetä uudestaan.

### 4<sup>o</sup> Reportit

Systeemin tulee pitää yllä tieto särmätyistä laudoista laatu- ja dimensioluokittain sekä tieto esiintyneistä häiriöistä, niiden esiintymiskertojen määrästä sekä kestoajoista. Ohjaushierarkian (kuva 37) alemmalta tasolta, missä varsinainen optimointi tapahtuu, siirretään lautakohtaisesti ylemmän hierarkiata-son kirjanpitoalueelle tiedot särmätyn laudan dimensioista,



laadusta ja pituudesta. Samoin siirretään esiintyneen häiriötyypin koodi ja kesto aika, joka lasketaan automaattisesti. Häiriötyyppejä ovat esim. hydraulikka-, pneumatiikka- tai mekaniikkahäiriöt. Säräyttä lauttaa tai esiintynyttä vikaa siirrettäessä kumuloidaan uusi tieto vanhoihin siten, että saman dimensioiset ja laatuiset laudat lasketaan yhteen. Samoin lasketaan yhteen myös kunkin vikatyypin esiintymisajat.

### 6.2.3 Säräyksen optimointitavoitteet

Keskeisin säräyslinjakohtainen tiedonkäsittelytehtävä on optimisäräysvaihtoehdon hakeminen mittauslaitteelta saatavien, aihiota kuvaavien koordinaattien avulla. Optimointiin liittyy erilaisia tiedon konvertointitehtäviä, kuten mittauslaitteelta saadun tiedon muuntaminen sellaiseen muotoon, että sen käsittely optimointiohjelmalla on mahdollista. Toinen vastaava tehtävä on tulostietojen konvertointi sellaiseen muotoon, että säräyslaitteen ohjausosa voi niitä käyttää.

Tässä yhteydessä ei puututa optimoinnin strategiaan, vaan sitä tarkastellaan luvussa 6.3. Optimoinnin tavoitteita on sen sijaan syytä tarkastella hieman lähemmin. Aiemmin on jo todettu, että yleinen tavoite säräyksen automaattisessa optimoinnissa on ollut yksikköhintasuhteiden, ts. sahatavaran arvon mukainen optimointi. Merkittävimmäksi optimointikriteeriksi ei siis valita pelkästään puumäärää, vaan ratkaisevaa on miten arvokas kukin säräysvaihtoehto on markoissa mitattuna. Lisävaatimuksena optimointiohjelmalla on vielä se, että syntyvän hakkeen arvo tulee laskea mukaan säräysvaihtoehtojen paremmuutta määrittäessä. Hake on huomattavan arvokasta kemiallisen puunjalostusteollisuuden raaka-ainetta ja on havaittu, että sen mukaan ottaminen optimoinnissa on oleellista. Syntyvän



hakkeen ja särmätyn laudan arvojen summaaminen saat-  
taa useissa tapauksissa johtaa eri särmäysvaihtoehdon  
valintaan kuin pelkän laudan arvon huomioon ottaminen  
optimointia suoritettaessa. Tämä johtuu luonnollisesti  
siitä, että tietyissä tapauksissa laudan kaventaminen  
johtaa niin suureen lisähakkeen syntymiseen, että  
kapean laudan ja suuren hakemäärän yhteisarvo on  
suurempi kuin leveän laudan ja vastaavasti pienen  
hakemäärän.

Optimoinnin tulee tapahtua riittävän nopeasti. Aikaa on  
kaiken kaikkiaan käytettävissä noin 2 sekuntia lautta  
kohden. Tästä kuitenkin osa, tyypillisesti noin  
0,5 s - 0,7 s kuluu laudan suuntaimien ja sahanterien  
mekaaniseen asetteluun. Jos oletetaan, että mittaus  
ja optimointilaskelmat voidaan tehdä rinnakkaisina toi-  
mintoina, ts. tietokone optimoi yhtä aihiota samalla  
kun toinen on mitattavana, päästään arvioon, jonka  
mukaan yhtä lautaa kohti on optimin hakemiseen käy-  
tettävissä aikaa n. 1,3 s - 1,5 s.

Erilaisista mekaanisista ja muista viiveistä johtuen  
todellinen käytettävissä oleva aika on lyhempi. Arvio,  
jonka mukaan optimointiohjelman on pystyttävä selvit-  
tämään yksi aihio alle sekunnin laskenta-ajalla, lienee  
realistinen.

Optimointiohjelmalle tai yleisemmin tarkasteltuna  
tietojenkäsittelytehtävien toteuttamiselle voidaan  
asettaa lisäksi yleisiä rakenne- ja toimintavaatimuk-  
sia. Tietojenkäsittelyjärjestelmän on oltava tehokas,  
riittävän yksinkertainen sekä helposti muunneltavissa.



### 6.3 Särmäyksen optimointi

Aiemmin on jo esitetty yksinkertainen kaavakuva (kuva 30) särmäyksen optimoinnista. Sen mukaan siinä on kolme osaa: mittaus, laskenta ja särmäyksen ohjaus.

#### 6.3.1 Mittaus

Mittausmenetelmä, jolla aihion muoto ja vajaasärmien osuudet selvitetään, perustuu valodiodikameran havaitsemaan tummuusvaihteluun aihion pinnalla sitä eri tavoin valaistaessa. Mittauslaite tuottaa 10-bittistä tietoa vajaasärmien alku- ja loppukohdista. Kamerassa filmin paikalla olevassa valodiodirivissä on 1024 elementtiä, joista jokaisen havaitsema tummuusaste rekisteröidään erikseen. Jos ajatellaan, että kameran näkemäalueen leveys, joka vastaa siis leveintä mahdollista aihiota, olisi esim. 0,5 metriä, saataisiin aihion poikkileikkauksen suuntaiseksi resoluutioksi  $0,5 \text{ m}/1024 \approx 0,5 \text{ mm}$ , mikä on täysin riittävä tarkkuus, koska särmäyssahan tarkkuus, mikä riippuu erilaisista mekaanisista asetuksista, ei yleensä ole suurempi kuin  $\pm 1 \text{ mm}$ . Näin ollen mittauslaitteella voidaan optimoinnin kannalta saavuttaa täysin riittävä tarkkuus.

Mittauksen jälkeen on tietokoneella muistissaa aihioista samantapainen kuva kuin kuvassa 26 on esitetty SAAB-tementin automaatin tarkastelun yhteydessä.

#### 6.3.2 Laskenta

Kuten jo useampaan otteeseen on käynyt ilmi, tarkoitetaan laskennalla tässä tapauksessa optimin hakeamista niiden vaihtoehtojen joukosta, joita aihioista on mahdollista särmätä. Optimilla tarkoitetaan sitä lopputulosta, jonka arvo markkamääräisesti on suurin.



Särmäysvaihtoehdon arvo muodostuu seuraavasti:

$A = \alpha * L + \beta * H$ , missä

$A$  = särmäysvaihtoehdon arvo

$\alpha$  = tarkasteltavaan dimensioon ja laatuun liittyvä hintasuhdekerroin

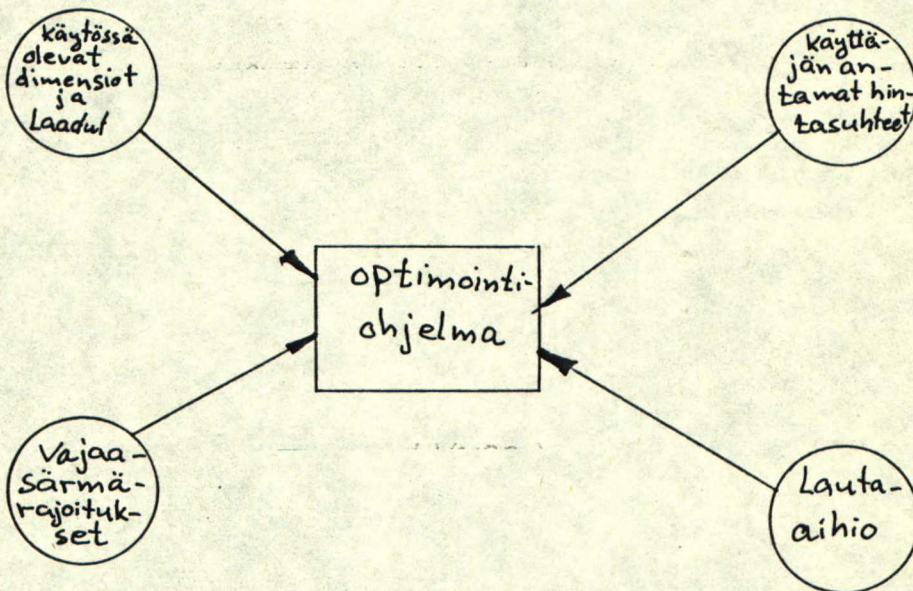
$L$  = aihioista saatavan laudan pituus

$\beta$  = hakkeen yksikköhintasuhde

$H$  = syntyvän hakkeen määrä

Arvo koostuu siis laudan ja syntyvän hakkeen arvojen summasta. Ennen kuin tätä summaa voidaan määrittää, on tutkittava, mitkä ovat suureiden  $L$  ja  $H$  arvot.

Yleisesti esitettynä probleeman lähtötilanne on seuraava:



Kuva 40. Optimoinnin syöttötiedot.

On olemassa tietty dimensioiden (paksuus x leveys) ja laatuojen joukko, joiden määräämissä puitteissa optimointi tapahtuu. Kuhunkin paksuus-leveys-laatu-kolmikkoon liittyy sen arvoa kuvaava painokerroin, jota



tässä yhteydessä nimitetään hintasuhteeksi, koska se liittyy läheisesti ko. kolmikon edustaman lauto-tyypin markkina-arvoon. Laudan paksuutta ei tosin särmäysvaiheessa voi enää muuttaa, mutta se on kuitenkin oleellinen hintasuhteisiin vaikuttava parametri, koska samalle särmäyslinjalle ohjataan usein eri paksuisia lautoja eikä ole itsestään selvää, että eri paksuusluokan laudoille halutaan antaa samat keskinäiset hintasuhteet.

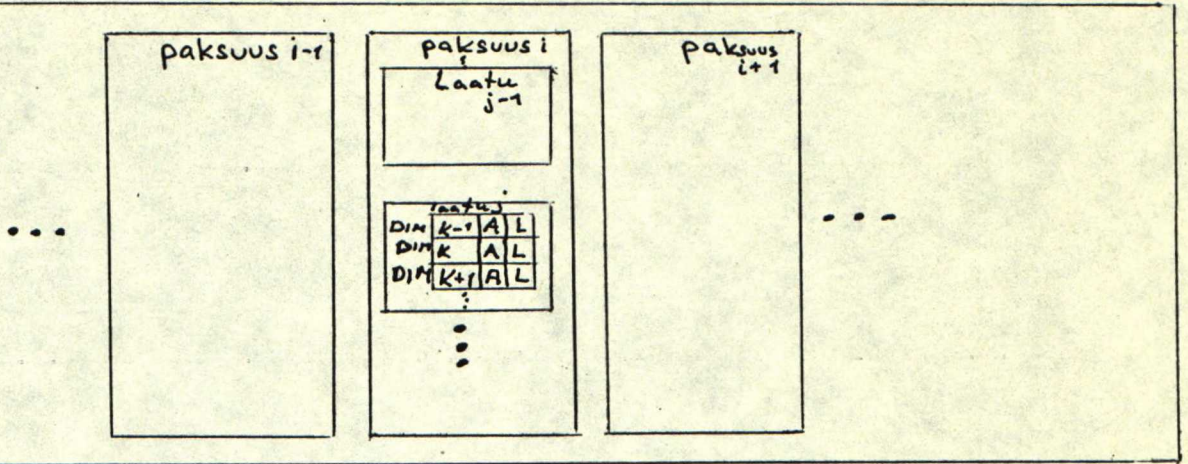
Optimointiohjelman kannalta on keskeisin lähtökohtatieto luonnollisesti itse aihio. Aihion muodosta saadaan, kuten aiemmin on jo selvitetty, kuva pisteverkko, jolla kuvataan sen muotoa ja vajaasärmiä.

Aihiota tarkastellaan tietyin välimatkoin, jotka määräytyvät mittalaitteen käyttämästä mittausvälistä. Jokaisesta tarkasteltavasta poikkileikkauksesta tutkitaan, mitkä ovat sen kohdalta saatavat särmäysvaihtoehdot. Aihio edetään päästä päähän ja joka poikkileikkauksen kohdalla päivitetään eräänlaista vaihtoehtojen taulukkoa, josta selviävät eri vaihtoehtojen alku- ja loppukohdat aihiolle. Kun on edetty aihion päähän asti, nähdään taulukosta, miten pitkiä eri vaihtoehtoista tulisi.

Kuvassa 41 on esitetty eräs vaihtoehtojen taulukon osa. Taulukon alkioina on kaksikomponenttinen elementti, jonka kenttä A kertoo ko. vaihtoehtojen alku- ja kenttä L vastaavasti loppukohdan aihion alusta lukien.

Kun vaihtoehtojen taulukko A- ja L-kenttineen on valmis, laaditaan tämän sekä hintasuhdetietojen avulla uusi taulukko, johon lasketaan eri särmäysvaihtoehtojen arvot. Hakemalla lopuksi tämän taulukon suurin alkio, päästään lopputulokseen.





Kuva 41. Vaihtoehtojen taulukko.

Tämän työn yhteydessä ei tarkastella em. taulukko-operaatioiden käytännöllistä toteutusta yksityiskohdaisesti. Todettakoon kuitenkin, että esim. hintasuhte-  
taulukot ja vaihtoehtojen taulukot tehdään samantyyppisiksi siten, että tietyistä vaihtoehdosta voidaan siirtyä helposti tietyllä osoitteiden vakio-opetaatiolla käsittelemään ko. vaihtoehtoon liittyvää hintaa. Lisäksi on puolustettavissa vakiomuotoisten taulukoiden käyttö, ts. jokaiselle tietoalkiolle on olemassa oma absoluuttinen osoitteensa. Tällöin vältetään monimutkaisilta, hankalasti ohjelmoitavilta ja vika-alttiilta ketjutus- yms. rakenteilta. Tarpeetonta tietojenkäsittelyä tosin aiheutuu siitä, että ohjelma joutuu aina käymään taulukoiden nekin alkiot läpi, joita vastaavat särmäysvaihtoehdot ovat tarkasteltavalla aihiolla mahdottomia. Vikatilanteisiin tämä ei kuitenkaan johda, koska ne vaihtoehdot, joita ei voida toteuttaa, saavat arvon nolla (A- ja L-kentät vaihto-



ehtojen taulukossa nolliä). Lisäksi on laskettu, ettei tämä hidasta liikaa ohjelman suoritusta tai vaadi lisää muistitilaa niin paljon, että muunlaiseen ratkaisuun kannattaisi ryhtyä.

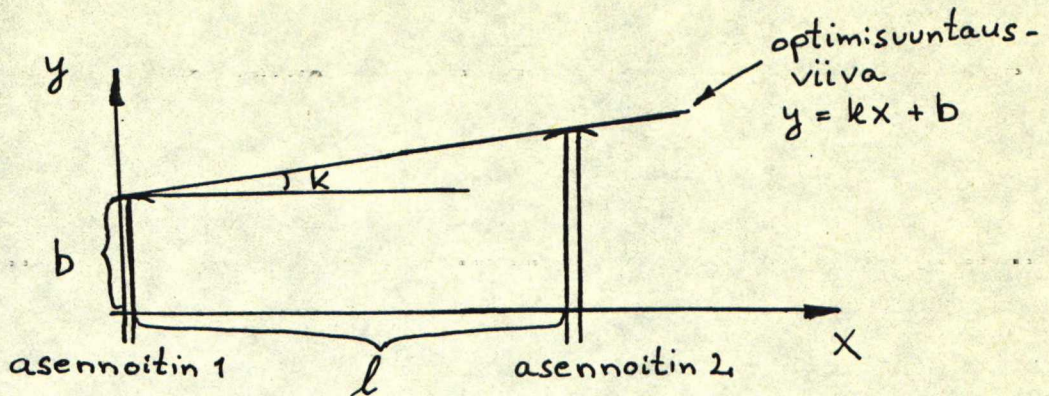
### 6.3.3 Säräyksen ohjaus

Säräyksen ohjaus on varsinainen aihiota muokkaava toimenpide, jolloin mittauksesta ja laskennasta saadut tulokset sovelletaan käytäntöön. Säräyksessä on kaksi parametria, jotka määräytyvät optimoinnin yhteydessä: lauta-aihion suuntaus ja sahan leveysasetus. Säräyksen mekaaninen toteutus vastaa kuvassa 27 esitettyä SAAB-tementin laitetta, joten siihen ei enää puututa tarkemmin. Sen sijaan tarkastellaan servosylintereiden ja servo-ohjatun sahan toimintaa ja ohjausta. Optimointiohjelmalta on saatu tieto parhaasta säräysvaihtoehdosta. Sahanterien asetus oikeaan leveyteen ei tuota vaikeuksia, koska valitussa sahakoneessa terät liikkuvat aina symmetrisesti kiinteään keskiviivan suhteen ja optimointiohjelmalta saatu leveystieto voidaan sellaisenaan syöttää sahalle, joka toimii digitaaliohjauksella.

Suuntaustieto saadaan sen sijaan suoran yhtälön kerrotoimina, joista täytyy ensin laskea arvot aihiota kääntäville sylintereille. Ideaalitapauksessa arvot voidaan laskea seuraavan kuvan osoittamalla tavalla, vaikka käytännössä joudutaankin useimmiten tekemään vakiolla lisäyksiä tai kertolaskuja.

Kuvan 42 tapauksessa asennoittimen 1 asetusarvoksi saadaan suoraan  $b$  ja asennoittimen 2 asete on  $b+k \cdot l$ , missä  $l$  on asennoittimen välinen etäisyys.





Kuva 42. Asennoitinarvojen laskeminen ideaalitapauksessa.

Asennoittamisen ja sahanterien asetuksen jälkeen voidaan aihio ajaa särmäsahan läpi. Särmäykseen liittyvä tietojenkäsittely ei ko. laudan osalta kuitenkaan vielä pääty tähän, vaan lautaan liittyvät tiedot talletetaan, jotta ne voidaan siirtää koko särmäysalueen tietojenkäsittelyjärjestelmälle laudan katkaisua, lajittelua ja tuotannon kirjanpitoa varten.

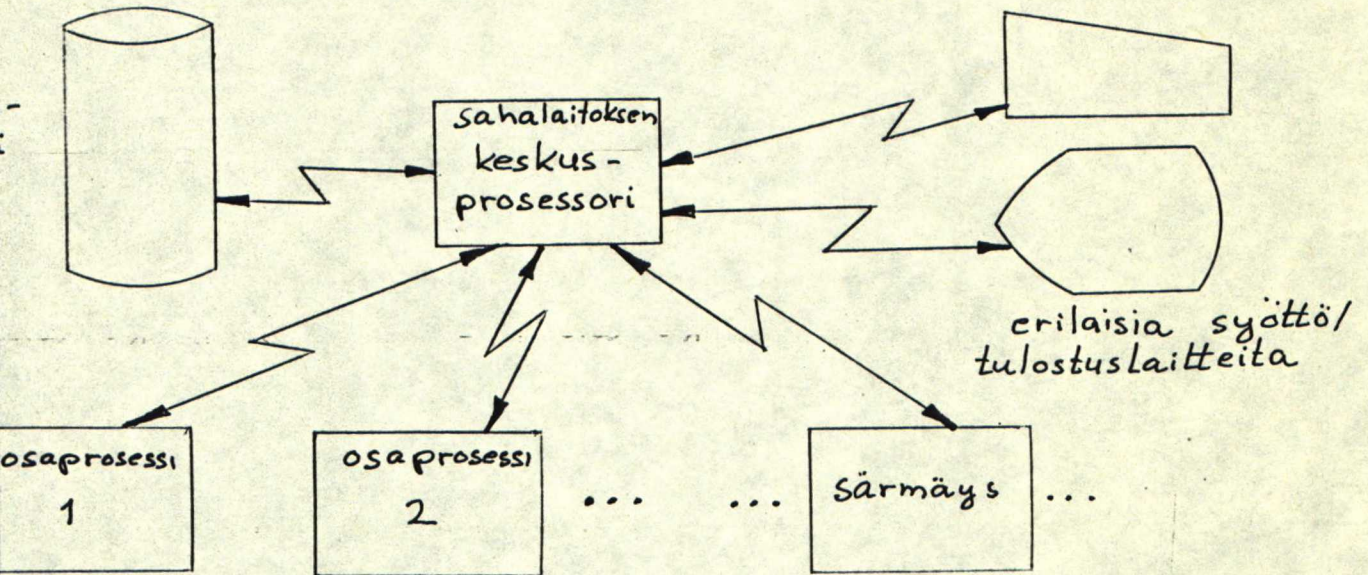
#### 6.4 Särmäysprosessin kokonaisohjaus

##### 6.4.1 Yleiskuvaus

Edellä on tarkasteltu särmäyslinjakohtaisia tietojenkäsittelytehtäviä. Tämän jälkeen siirrytään käsittelemään neljästä särmäyslinjasta koostuvan särmäysalueen tietojenkäsittelyä kokonaisuutena. Luvussa 6.2.1 esitettiin jo, miten särmäyksen tietojenkäsittely on jaettavissa kahteen hierarkiatasoon. Tässä tarkastellaan ohjaushierarkian ylempää tasoa, särmäysalueen kokonaisohjaussysteemiä.



Särmäysalueen tietojenkäsittely liittyy omana yksikönään sahalaituksen kokonaisohjausjärjestelmään, jolla on vastaavia liitännöitä muihin osaprosesseihin, kuten esim. tukkilajitteluun, dimensiolajitteluun tai tasaamoon.



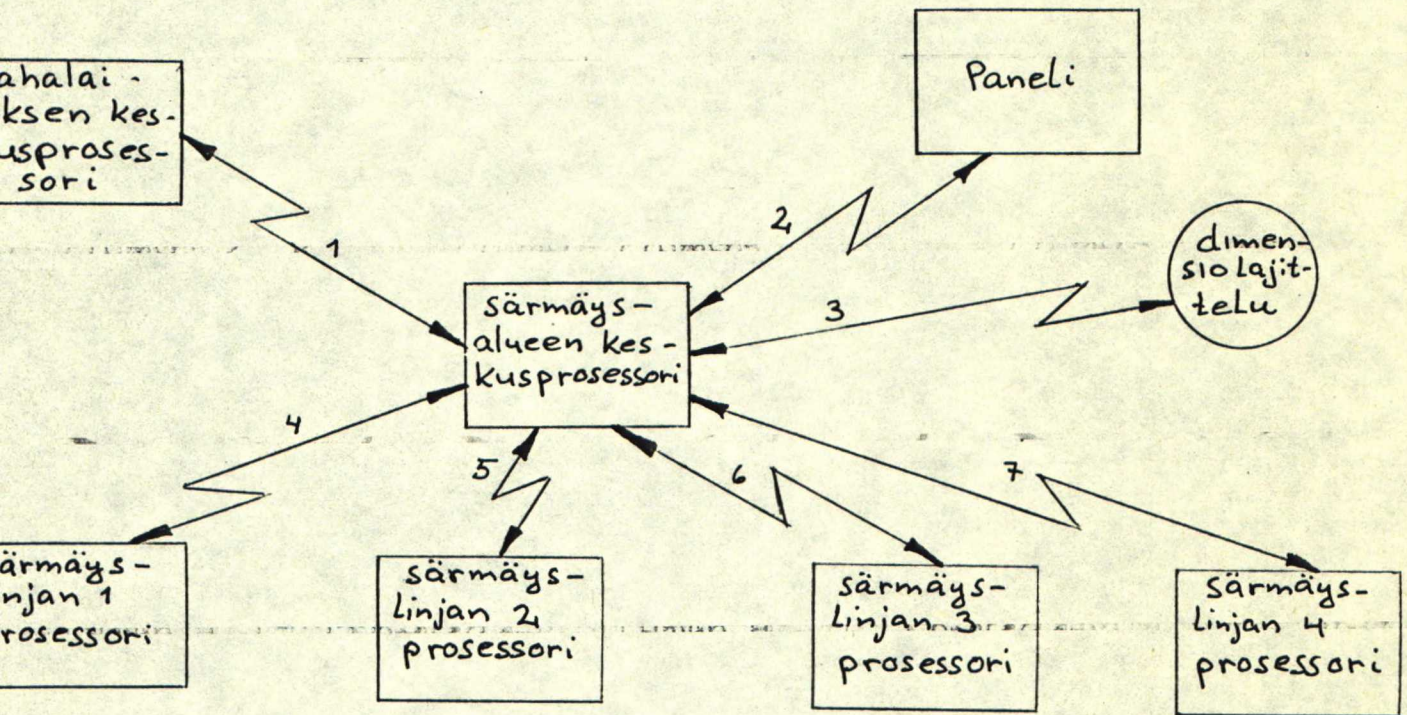
Kuva 43. Säritysalueen tietojenkäsittelyjärjestelmän liittyminen sahalaituksen kokonaisohjaus-systeemiin.

Keskusprosessorilla on käytössään massamuistia, jonne talletetaan eri osaprosesseilta saatavat raportointitiedot. Osaprosessien tuottamista raporteista laaditaan määrävälein yhteenvetoraportit, jotka tulostetaan jollakin kirjoittavalla päätteellä, normaalisti rivikirjoittimella. Lisäksi massamuistiin talletetaan osaprosessien käyttämää tietoa, kuten esim. tukkilajittelun luokittelukriteerejä tai särityksen hintasuhdetaulukoita. Osaprosessien tietojenkäsittelyjärjestelmät toteutetaan mikroprosessoreilla, joiden yhteyteen ei tämän tyyppisissä sovellutuksissa kannata



liittää levy- tai muuta massamuistiyksiköitä, mikä on syynä siihen, että tietyn tyyppiset, ajoittain vaihtelevat tiedot on talletettava varmalle, sähkökatkon tms. yhteydessä säilyvälle muistiyksikölle.

Särmäysalueen tietojenkäsittelyjärjestelmän liitännät muodostuvat seuraavan kuvan kaltaiseksi.



Kuva 44. Särmäysalueen liitännöjen muodostama verkkorakenne.

Särmäysalueen keskusprosessori hoitaa kaiken tiedonvälityksen särmäyslinjojen ja ulkomaailman välillä. Rakenne edustaa tässä suhteessa eräänlaista tähti-verkkoa, jossa keskuskoneella on tiedonsiirtokanavat jokaiselle verkkoon kuuluvalle laitteelle, mutta kukin ympäryslaitte tarvitsee ainoastaan yhden tiedonsiirtotien /5/.



On kuitenkin huomattava, että sekä koko sahalaitoksen keskusprosessorilla, että kullakin särmälinjalla on muita liitännöitä, jotka eivät liity tähän systeemiin, joten mikään puhdas tähtiverkko ei ole kyseessä, vaikkakin kaikki kuvassa esiintyvät liitännälaitteet kommunikoivat toistensa kanssa ainoastaan särmäysalueen keskusprosessorin kautta.

Aiemmin todettiin, että särmäyksen tietojenkäsittelyjärjestelmän ylempi hierarkiataso liittyy keskeisesti järjestelmään, jolla särmäyslinjojen toimintaa ohjataan yhtenä kokonaisuutena. Tämä ohjaus tarkoittaa itse asiassa koko sahalaitoksen keskustietokoneelta saatujen ohjausparametrien, joina toimivat aiemmin mainitut sahatavaroiden hintasuhteet, välittämistä särmäyslinjoille sekä toisaalta tuotannon ja systeemin toimintatietojen keräystä linjoilta ja edelleen välitystä keskuskoneelle.

#### 6.4.2 Ohjaustavat

Särmäysprosessin ohjauksella tarkoitetaan sopivien ohjausparametrien välittämistä systeemille siten, että prosessi tuottaa ko. parametreja vastaavan tuloksen, joka särmäyksessä liittyy tuotannon laatu- ja dimensiojakautumiin. Särmäyksen optimoinnissa on kyse lautakohtaisesta ohjauksesta, joka tehdään niiden ohjaustietojen perusteella, jotka kokonaisohjausjärjestelmä antaa. Särmäysprosessin tuloksia voidaan täten vaihdella ja siis särmäystä ohjata kokonaisvaltaisesti muuttamalla optimointisysteemin lähtökohtatietoja, joita ovat useaan kertaan esillä olleet hintasuhtetiedot. Niitä käyttämällä optimointiohjelma painottaa eri tavalla erilaisia särmäysvaihtoehtoja. Hintasuhtetietoja muuttamalla voidaan vaikuttaa särmäystulokseen ja tuottaa sellaista sahatavaraa, jota sahan tuotannon suunnittelu edellyttää.



Hintasuhdetietojen lisäksi voidaan haluttaessa muuttaa laatutietoja, ts. esim. vajaasärmän sallittua osuutta tietyssä laatuluokassa. Tällainen muutos on luonteeltaan pysyvämpi kuin hintasuhteiden vaihtelun käyttö ja vaikuttaa jokaiseen dimensioluokkaan, minkä vuoksi sitä ei yleensä kannata käyttää tuotannon ohjauksessa. Näin voidaan saatavaan tuotantoon vaikuttaa ohjausparametreja muuttamalla. Impulssit muutoksiin saadaan särmäyksen seurantajärjestelmältä, jota tarkastellaan seuraavaksi.

#### 6.4.3 Särmäyksen seurantajärjestelmä

Seurantajärjestelmä on systeemi, jonka avulla voidaan tarkkailla särmäyksen toimintaa ja tuloksia. Seurantajärjestelmä jakautuu kahteen osaan: prosessinaikaiseen ja prosessinjälkeiseen seurantaan.

##### Prosessinaikainen seuranta

Särmäyksen ollessa käynnissä on prosessin valvojalla mahdollisuus seurata prosessin kulkua särmäyslinjoille liitettyltä ohjauspanelilta käsin. Panelissa on prosessin seurantaan varten joukko merkkivaloja, joista selviävät mahdolliset vika- ja poikkeustilanteet särmäyslinjakohdasta. Panelille saadaan tieto esim. siitä, että jokin linja on pysähtynyt laudan tukittua kuljetinradan tai pölyn ja muiden roskien estäessä mittausoptiikan toiminnan. Tämän tyyppisten vikojen ollessa kyseessä voi tarkkailija käydä selvittämässä vika-tilanteen ja särmäys voi tämän jälkeen jatkua normaalisti. Erikseen saadaan tieto sellaisista vioista, jotka vaativat huoltomiehen kutsumista paikalle, kuten häiriöt optimointiyksikön tai muun elektroniikan toiminnassa. Prosessinaikaisella seurannalla voidaan siis vaikuttaa ainoastaan särmäyksen etenemiseen, muttei särmäystuloksen laatu- tai dimensiojakautumiin.



## Prosessinjälkeinen seuranta

Prosessin toimintaa pitemmällä aikavälillä, esim. vuorokohtaisesti, seurataan tuotannon ja häiriöiden raportointisysteemillä, joka tuottaa yksityiskohtaiset tiedot prosessin toiminnasta koko sahalaituksen ohjausjärjestelmälle. Raportit lähetetään sahan keskustietokoneelle normaalisti vuorokohtaisesti, mutta myös tiheämpi raportointiväli on mahdollinen.

Raporteista selviävät särmäyksen tulokset särmäyslinja-, puulaji-, dimensio- ja laatukohtaisesti. Keskusprosessorilta saadaan haluttaessa yhteenvetoreportit. Myös häiriöaikatiedot, kuten häiriöiden syyt ja kestoajat raportoidaan särmäyslinjakohdaisesti.

Raporttien avulla voidaan seurata, miten eri ohjausparametrien arvot, ts. hintasuhteiden muutokset vaikuttavat tuotannon laatu- ja dimensiojakautumiin. Lisäksi voidaan tarkkailla korrelaatiota aiemman tuotannon ja vastaavien ohjausparametrien välillä ja havaita muutokset särmäystuotossa, mistä havaitaan mahdolliset vikaantumiset optimointisysteemissä.

Sekä prosessiaikainen, että -jälkeinen seuranta on välttämätöntä särmäyssysteemin luotettavan käytön varmistamisessa. Vikojen havaitseminen ja paikallistaminen tämän tyyppisessä pitkälle automatisoidussa systeemissä olisi erittäin hankalaa ilman automaattista ja laajaa toiminnan tarkkailua.

## 6.5 Tietoliikenne hajautetussa särmäyksen ohjausjärjestelmässä

### 6.5.1 Erilaisia liikennöintitapoja

Kuvassa 44 esitettiin jo, mitä tiedonsiirtoväyliä tutkittavassa systeemissä on. Seuraavaksi tarkastellaan



tietoliikenteen toteutusmahdollisuuksia ko. systeemissä. Aluksi selvitetään lyhyesti, mitä liikennöimistapoja voidaan käyttää hajautetun tietojenkäsittelyjärjestelmän eri osien välisessä kommunikaatiossa. Sen jälkeen tarkastellaan, miten esitetyt ratkaisut sovelletaan tarkasteltavana olevaan särmäyksen tietojenkäsittelyjärjestelmään.

Tiedon siirto kahden tietoa käyttävän tai välittävän laitteen välillä voi tapahtua kahdella erilaisella periaatteella:

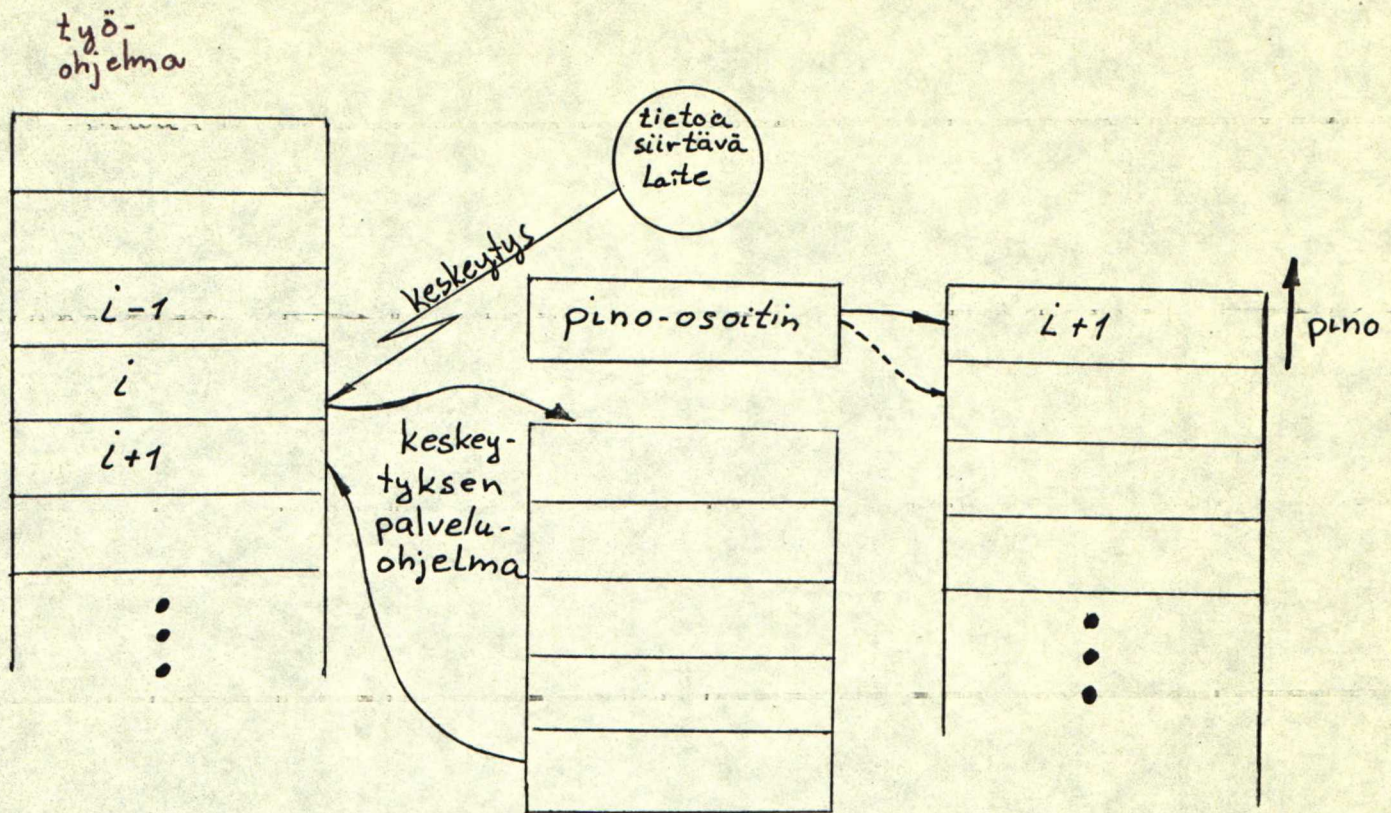
- 1) rinnakkaismuotoisena siirtona tai
- 2) sarjamuotoisena siirtona.

Rinnakkaismuotoisessa siirroksessa siirretään useita bittejä yhtäikaa. Useimmiten rinnakkain siirrettävä bittimäärä valitaan prosessorin datasanan mittaiseksi tai joksikin sen sopivaksi osaksi tai monikerraksi. Liikennöinnin tapahtuessa mikroprosessoreilla on luonnollista, että dataväylän leveys on kahdeksan bittiä, koska mikroprosessorit ovat lähes aina kahdeksan bitin koneita. Rinnakkaissiirto on nopeata, mutta vaatii oman linjansa kullekin siirrettävälle sanan tai tavun bitille, mistä seuraa suuri siirtolinjojen tarve.

Sarjamuotoisessa siirroksessa lähetetään kaikki bitit peräkkäin samaa linjaa pitkin. Tällöin liikennöintiin riittää yksi linja. Siirron nopeus on pienempi kuin rinnakkaisessa siirroksessa ja lisäksi täytyy tehdä muunnos rinnakkaisesta sarjamuotoon, koska prosessorit käsittelevät tietoa aina rinnakkaismuodossa. Sarjamuotoinen liikennöinti on käytössä lähes aina, kun siirtomatka on pitkä.

Sekä sarja- että rinnakkaisliikenne voidaan toteuttaa joko keskeyttävällä tai pollaavalla systeemillä.





Kuva 45. Keskeytyksillä toimiva tiedonsiirto.

Keskeyttävässä tiedonsiirtosysteemissä pyritään minimoimaan tiedonsiirtoon kuluva aika siten, ettei tiedonsiirtoa suorittavassa ohjelmassa käydä muulloin kuin silloin, kun tietoa siirtävä laite on saanut tietyn tietoyksikön, esim. merkin tai määrämittaisen lohkon siirretyksi toiselle vastaavalle laitteelle. Kuvassa 45 on esitetty tyypillisen mikroprosessoriympäristössä toimivan keskeytysohjatun tiedonsiirto-proseduurin toimintaa. Prosessori on ollut suorittamassa tiettyä ohjelmaa käskyssä  $i$ , kun tietoa siirtävä laite aiheuttaa ohjelman suorituksen keskeytyspyynnön. Tällöin tapahtuu seuraavaa:

- prosessori suorittaa käskyn  $i$  loppuun,
- seuraavan käskyn ( $i+1$ ) osoite talletetaan systeemin käytössä olevaan pinoon,



- pino-osoitin päivitetään osoittamaan käskyn  $i+1$  osoitetta, mikä on nyt pinon uusi pinta-elementti,
- ohjelmanaskurirekisteri, joka osoittaa aina seuraavaksi suoritettavaa käskyä pannaan osoittamaan keskeytyksen palveluohjelman alkukohtaa.

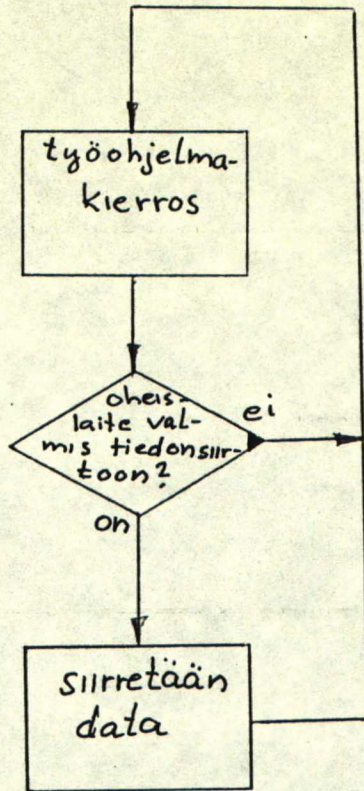
Ohjelman suoritus jatkuu nyt keskeytyksen palveluohjelmasta, missä tehdään halutut tiedonsiirto-operaatiot, esim. tuodaan oheislaitteelta lähetetty merkki tietokoneen muistiin.

Kun halutut toimenpiteet on suoritettu, palataan ohjelmaan, jonka suoritus keskeytyi keskeytyksen palveluohjelman ajaksi. Oikea jatko-osoite löydetään pino-osoittimen osoittamasta paikasta pinon huipulta ja alkuperäisen ohjelman suoritus voi jatkua.

Pollaava eli kiertokyselyjärjestelmä perustuu tiettyjen statustietojen ajoittaiseen testaukseen. Ohjelman suoritusta ei varsinaisesti keskeytetä, vaan tiedonsiirto tapahtuu haarautumalla tiedonsiirtorutiiniin aina, kun oheislaitteelta luetussa tila- eli statustavussa on ilmoitus siitä, että tietoa voidaan siirtää. Kuvan 46 lohkokaavio selvittää pollauksen periaatetta.

Kuvassa on esitetty tilanne, jossa prosessorin suoritettavana on tietty työohjelma, josta se tietyin välein ehtii käydä tutkimassa oheislaitteen tilaa. Aina kun oheislaitte on valmis tiedonsiirtoon, siirretään dataa esim. prosessorin muistiin. Jos siirrettävää dataa ei ole tai se ei ole ehtinyt valmiiksi oheislaitteella, palataan välittömästi työohjelmaan.





Kuva 46. Esimerkki pollausperiaatteesta tiedonsiirrosta.

Keskeyttävä toimintatapa on nopeampi kuin pollaava, koska statuksien testauksia ei tarvita. Toisaalta keskeytysohjatussa systeemissä on huolehdittava siitä, että työohjelman tila saadaan aina palautetuksi välittämättä siitä, missä kohdassa se keskeytettiin. Pollaavassa systeemissä tiedetään aina, mihin tilaan työohjelma jäi tiedonsiirto-ohjelmaan siirryttäessä. Joustava pinonkäyttömahdollisuus nykyisissä prosessoreissa on toisaalta helpottunut ohjelman tilan säilyttämistä keskeytysohjatuissa systeemeissä.

Yhteenvedona voidaan sanoa, että suurta nopeutta vaativissa tehtävissä kannattaa tiedonsiirto useimmiten tehdä keskeytysperiaatteella. Pollaava systeemi on helpompi koodata ja testata, joten sellaiset tehtävät, joissa ei ole aikakriittisyyttä, kannattaa usein suunnitella tällä periaatteella.

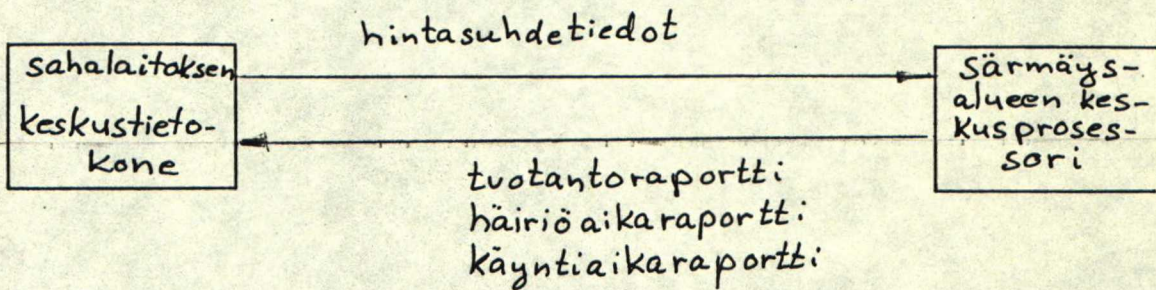


### 6.5.2 Tiedonsiirron toteutusmuodot

Kuvassa 44 esitettiin, millaisen verkkorakenteen särmäyssysteemin laiteliitännät muodostavat. Seuraavassa käsitellään tarkemmin kullakin linjalla tapahtuvaa liikennöintiä.

1. Sahalaitoksen keskustietokone ↔ särmäys-  
alueen keskusprosessori

Aiemmin on jo selvinnyt, mitä tietoja sahan keskuskone välittää särmäyssysteemille ja päinvastoin. Seuraava kuva selvittää vielä asiaa



Kuva 47. Särmäyssysteemin ja sahan keskuskoneen välinen tietoliikenne.

Liikennöinti käydään sarjamuotoisena ja kaksisuuntaisena, keskeyttävällä systeemillä, jossa käytetään merkkikohtaista kaiutusta tiedonsiirron oikeellisuuden varmistamiseksi. Proseduuri voidaan käynnistää joko mikroprosessorilta tai keskuskoneelta käsin. Raporttien lähetyksen jälkeen siirretään mikroprosessorille aina voimassa oleva hintasuhtetaulukko. Täten varmistutetaan siitä, että särmäyssysteemillä on aina käytössään oikeat hintasuhtetiedot. Hintasuhteiden siirto voidaan käynnistää milloin tahansa mikroprosessorilta käsin. Häiriötilanteiden, esim. sähkökatkon



jälkeen siirto on välttämätöntä, koska käytetystä puolijohdemuistista katoaa tieto sähkökatkon tullessa.

Raportointijärjestelmässä on varauduttu siihen, ettei keskuskone ole kunnossa suunnitteleamalla raportointi-systeemi myös kirjoittavalle päätteelle. Raporttien lähetys päätteelle tapahtuu saman sarjaliitännän kautta kuin liikennöinti keskustietokoneellekin. Erona on ainoastaan se, ettei pääte lähetä kaikkua saamastaan datasta, eikä tiedonsiirto merkkikohtaisella tarkistuksella ole mahdollista. Hintasuhteiden syöttäminen päätteeltä on mahdollista, mutta hidasta eikä välttämätöntä.

## 2. Paneli särmäalueen keskusprosessori

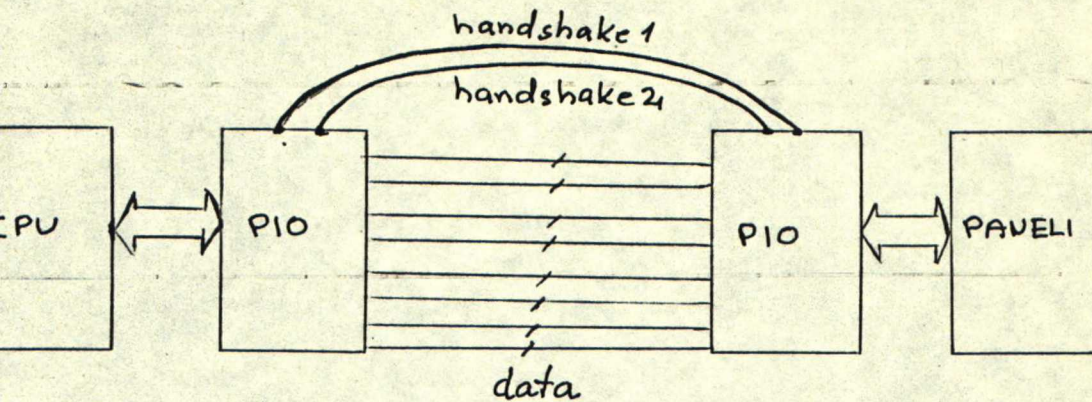
Panelilla tarkoitetaan tässä yhteydessä ohjaustaulua, josta voidaan seurata särmäyssysteemin toimintaa sekä antaa tietoja esim. päiväyksestä, vuorosta ja käytetystä tukkisahan asetteesta. Näitä tietoja vaaditaan raportoinnissa ja ne luetaan panelilta aina kun raportin lähetyksen aloituskomento on annettu. Lisäksi panelissa on merkkivaloja erilaisista häiriö- yms. tilanteista. Valoja ohjataan särmäalueen prosessorilta käsin.

Panelissa on luettavia yksiköitä, kuten peukalopyörät ja erilaisten kytkimien asennot sekä ohjattavia yksiköitä, kuten valot. Paneli on tyypillinen rinnakkaisen tiedonsiirron sovellutuskohde. Mikroprosessorin rinnakkaisliitäntäpiirillä voidaan ohjata digitaalisia anto- (output-) linjoja sekä lukea otto- (input-) linjoja joustavasti, koska kukin linja vastaa tiettyä bittiä prosessorin syöttö-/tulostuskäskyjen data-osassa.

Siirto kahden rinnakkaisliitäntäpiirin välillä tehdään ns. handshake- eli kättelysiirtona, millä tarkoitetaan



sitä, että varsinaisten datalinjojen lisäksi käytössä on kaksi kontrollisignaalia sekä lähettävällä että vastaanottavalla laitteella, joilla ohjataan tiedon siirtoa.



Kuva 48. Rinnakkaissiirto panelin ja keskusyksikön välillä handshake-signaaleja käyttäen.

Lähettävä PIO (parallel I/O device) aktivoi handshake1-signaalin kun se on valmis datan siirtoon. Vastaanottava PIO vastaa tähän aktivoimalla handshake2-signaalin, mikä puolestaan aiheuttaa datatavun siirtymisen PIO:n lähetyspuskurista datalinjoille ja vastaanottavan PIO:n puskuriin. Seuraavaa tavua ei voida siirtää, ennenkuin lähettävä laite on aktivoinut uudestaan handshake1-linjan. Näin varmistutaan siitä, että kaikki data saadaan siirretyksi mahdollisimman nopeasti eikä mitään hukata tai siirretä kahta kertaa.

Panelia ohjataan ja sen kytkimien asentoa luetaan pollaavalla ohjelmalla, ts. aina kun särmäyksen keskusprosessorilla on aikaa, se käy katsomassa, onko jonkin kytkimen asento muuttunut ja tekee tarvittaessa kytkimen asennon muutoksesta seuraavat toimenpiteet. Raportoinnin käynnistys panelilta on tyypillinen esimerkki pollausohjelman käytöstä. Kun ohjelma huomaa, että raportinlähetyspainiketta on painettu, se hyppää raportointiohjelman alkuun, missä lähetetään raportin



ensimmäinen merkki ja palataan pollausohjelmaan, joka jatkaa toimintaansa normaalisti havaitsematta, että keskeytyksillä toimiva raportointiohjelma on käynnissä ja keskeyttää panelia pollaavan ohjelman aina, kun sarjaliitännäyksikkö on valmis merkin lähettämiseen.

### 3. Dimensiolajitteluprosessori särmäysalueen keskusprosessori

Dimensiolajittelu on särmäystä seuraava sahalaitoksen osaprosessi. Särmätyt laudat lajitellaan dimension ja laadun mukaan omiin lautalokeroihinsa.

Dimension ja laadun määrittäminen voitaisiin tehdä dimensiolajittelussa omana toimenpiteenään, mutta koska särmäyksen yhteydessä dimensio ja laatu on jo kertaalleen selvitetty, on päätetty, ettei dimensiolajittelun yhteydessä niitä enää uudestaan määrätä.

Särmäyssysteemi siirtää laudan tiedot sarjamuotoisena dimensiolajittelun prosessorille silloin, kun särmätyt lauta on dimensiolajitteluun vievän kuljettimen tietyllä kohdalla. Kuljettimen akseliin kiinnitetyn pulssianturin avulla dimensiolajitteluprosessori tietää, milloin laudan pitäisi saapua kuljettimen päähän ja osaa tällä perusteella yhdistää saamansa tiedot oikeaan lautaan. Särmäyssysteemi seuraa lautaa siihen asti, kunnes sen tiedot on siirretty dimensiolajitteluprosessorille, minkä jälkeen laudan seuranta-tiedot, joihin kuuluvat dimensio- ja laatutietojen lisäksi tyven ja latvan katkaisutiedot, tuhotaan.

### 4-7. Särmäyslinjojen prosessorit särmäalueen keskusprosessori

Kunkin särmäyslinjan prosessori liittyy sarjamuotoisella linjalla keskusprosessoriin. Liikennöinti



tapahtuu pollausperiaatteella eikä keskeytyksillä, kuten sahan keskustietokoneelle liikennöitäessä. Särmsäysalueen keskusprosessori kiertää tutkimassa, onko jollakin särmäysprosessoreista valmiina särmätyn laudan tietoja, jotka voitaisiin lisätä kirjanpitoalueelle. Tiedot siirretään aina, kun jokin särmäyslinjan prosessoreista ilmoittaa olevansa siihen valmis asettamalla tietyn bitin statustavussaan, jota särmäalueen keskusprosessori käy lukemassa. Toiseen suuntaan liikennöidään haluttaessa siirtää sahan keskuskoneelta saapunut hintasuhdetaulukko edelleen särmäyslinjojen prosessoreille.

Särmäysalueen keskusprosessori lähettää kullekin särmäyslinjan prosessorille hintataulukon, joka on sitä ennen modifioitu sopivaan, optimointiohjelman käytettävissä olevaan muotoon.

### Yhteenveto

Edellä tarkasteltiin, miten särmäysalueen keskusprosessorin eri tiedonsiirtolinjoilla liikennöidään ja minkä tyyppistä tietoa välitetään. Yhteenvetona särmäysalueen keskusprosessorin toiminnasta voidaan todeta, että se suorittaa kiertokyselyohjelmaa, jossa testataan onko minkään särmäyslinjan prosessorin tai panelin tila sellainen, että se aiheuttaa jonkin toiminnan suorituksen. Jos tällainen tilanne havaitaan, tehdään vaaditut toimenpiteet ja palataan jatkaamaan pollauskierrosta. Raportoinnin ollessa käynnissä tai kun ollaan siirtämässä laudan tietoja dimensiolajitteluun, keskeytetään pollausohjelman suoritus, kunnes keskeytyspalveluohjelma on suoritettu, minkä jälkeen kiertokysely jatkuu normaalisti.



## 6.6

Särmäyssysteemin toiminnan varmistamisesta

Lopuksi tarkastellaan, mitä mahdollisuuksia on varmistua siitä, että särmäyssysteemin luotettavuus ja käytettävyys ovat mahdollisimman suuret.

Edellä esitetyssä hajautetussa prosessinohjausjärjestelmässä on useita toimivia kokonaisuuksia, joilla kullakin on oma tehtävänsä systeemissä. Järjestelmä toimii kahdella hierarkiatasolla, kuten aiemmin on todettu: optimointi- ja ohjaustasolla. Optimointitasolla on neljä itsenäisesti toimivaa särmäysyksikköä, joilla on liitântä ylemmän tason ohjausyksikköön. Systeemin toiminnan varmistaminen voidaan näin ollen myös toteuttaa vastaavilla tasoilla. Lisäksi on varmistettava tiedonsiirron toiminta systeemin osien välillä.

Varmistus optimointitasolla

Optimointiprosessorin ja mittauslaitteen toimintaa voidaan tarkkailla ohjelmallisesti itse prosessorin avulla. Varsinaisen optimointiohjelman lisäksi prosessori suorittaa tarkistusohjelmaa, jolla todetaan erilaiset vikatilanteet optimoinnissa. Ohjelma voidaan toteuttaa esim. siten, että prosessorilla on jatkuvasti muistissaan tietty kiinteä hypoteettinen aihio, jota käydään optimoimassa aina, kun prosessoriaikaa on käytettävissä. Samaten on oikea optimointitulostulos kiinteästi ohjelmoitu prosessorin lukumuistiin. Vertaamalla muistissa olevaa ja laskettua optimointitulosta voidaan poikkeamat todeta ja sytyttää vika valo särmäyksen tarkkailijan ohjauspanelissa. Tämän tyyppinen varmistus antaa vikatiedon aina, kun optimointialgoritmi toimii väärin, mutta se ei kerro, milloin ohjelma on esim. päässyt data-alueelle eikä koskaan suoritakaan optimointiohjelmaa. Lisäämällä



optimointirutiiniin aliohjelma, joka ilmoittaa määräävälein, että ko. alirutiinissa on käyty, voidaan varmistua siitä, että prosessori suorittaa oikeaa ohjelmaa. Aliohjelma voi esim. initialisoida tietyn ajastimen, joka aiheuttaa vikavalon sytyttävän keskeytyksen, ellei uusi initialisointi tapahdu määräajan kuluessa.

Edellä on esitetty vain muutamaa ohjelmallisesti toteutettavaa toiminnanvarmistusmenettelyä. Tämä ei pelkästään vielä riitä, vaan lisäksi tarvitaan joukko prosessorin ohittavia varmistusmenettelyjä. Näitä ei kuitenkaan tässä yhteydessä tarkastella.

#### Varmistus ohjaustasolla

Prosessin ohjaustasolla voidaan tehdä vastaavanlaiset ohjelmalliset tarkistukset toiminnan oikeellisuuden toteutukseksi kuin optimointitasollakin. Näitä merkittävämpi on kuitenkin ohjausyksikön suunnittelu siten, että optimointi voi tapahtua, vaikka ohjausyksikkö vikaantuisikin. Ohjaustasoltahan ainoastaan välittää ohjausparametrit ja otetaan vastaan tuotannon ja häiriöiden raportointi, muttei suoraanaisesti vaikuttaa yksittäisen aihion optimointiin. Tekemällä ohjaustason prosessori täysin irtikytkeväksi optimointiprosessista voidaan särmäysprosessi pitää käynnissä, vaikka ohjausyksikkö väliaikaisesti olisikin poissa toiminnasta. Tuotantoraporttia ei tosin synny, koska tuotanto kumuloidaan lautakohtaisesti ohjausprosessorin raportinkeräysalueelle, mutta optimointi ja särmäys voitaisiin kuitenkin suorittaa. Sama koskee tietysti myös optimointitason yksiköjä, joista yksi tai useampi voi olla vikaantunut ja särmäys silti jatkua. Tämä edellyttää kuitenkin sen, että vikaantuneelle särmäyslinjalle kuljetettavat aihiot voidaan ohjata toimiville linjoille särmättäviksi.



## Tiedonsiirron varmistus

Tiedonsiirron oikeellisuuden varmistus voidaan tehdä useilla standardiproseduureilla. Seuraavassa luettelaa yleisimmistä varmistusmenettelyistä ne, joita särmäyssysteemissä on järkevää käyttää.

- merkkikohtainen kaiutus: vastaanottava laite lähettää saamansa merkin takaisin lähettävälle laitteelle, joka tarkistaa, että takaisin tullut merkki on sama kuin lähetettykin. Jos ei ole, lähetetään kontrollimerkki, jolla mitätöidään väärin mennyt merkki ja yritetään uudestaan.
- pariteettitarkistus: lähetetyn datasanan tai -tavun yhdessä bitissä ilmoitetaan, onko ko. sanassa tai tavussa parillinen vai pariton määrä ykkösiä. Vastaanottajan havaitessa virheen ei merkkiä hyväksytä.
- tarkistukset lohkosiirossa: siirrettäessä tietoa lohkoina, ts. usean sanan tai tavun mittaisina joukkoina, voidaan käyttää useita tarkistusmenetelmiä, joita mainittakoon lohkon pituuden ilmoittaminen ja modulosummanenettely. Ensimmäisessä menettelytavassa lähetetään lohkon pituus ennen



varsinaista dataosaa ja vastaanottaja tarkistaa merkkien määrän oikeellisuuden vertaamalla ilmoitettua pituutta vastaanottamiensa merkkien määrään. Modulosummamenetellyllä tarkoitetaan tarkistusta, jossa edellä kuvatun lohkon pituuden sijasta lähetetään sana tai tavu, joka saadaan summaamalla kaikki siirrettävä data ja unohtamalla ylivuodot. Jälkimmäinen menetelmä on tarkempi, koska sillä havaitaan myös yksittäisten bittien virheellinen siirto, kun taas toisella menetelmällä huomataan ainoastaan virheellinen datojen määrä.

Tiedonsiirron varmistusmenettelyt ovat helpommin toteutettavissa kuin varsinaiset systeemivarmistukset, koska valmiita standardiratkaisuja on tarjolla eikä niiden toteutus särmäyssysteemin syöttö-/tulostuslaitteilla vaadi systeemivarmistuksiin verrattavissa olevaa suunnittelu- ja testaustyötä.

Yhteenvedona hajautetun tietojenkäsittelyjärjestelmän suunnittelusta voidaan todeta, että modulaarinen, särmäyslinjakohtaisesti itsenäisesti toimiva systeemi, jolla on yhteinen ohjausyksikkö, on helpommin suunniteltavissa ja testattavissa kuin laaja kokonaisuus ohjausjärjestelmä, mutta toisaalta hajautetusta tietojenkäsittelystä seuraa suuri kommunikaatiotarve, mikä lisää systeemin vika-alttiutta. Kuitenkin juuri modulaarisuuden ansiota on, että systeemin toiminta



voi jatkua osittaisena, vaikka jokin yksikkö olisikin vikaantunut.

Vian paikallistaminen ja korjaus helpottuvat, kun tutkittavana on pienissä yksiköissä toimiva kokonaisuus. Voidaan odottaa, että todennäköisyys sille, että systeemi on täysin vikaantunut, on pieni.



## 7. TIIVISTELMÄ

Särmäyksellä tarkoitetaan sahatavaran valmistuksen osaprosessia, jossa tukkisahasta tulleista vajaasärmäisistä lauta-aihiosta poistetaan vajaasärämä joko kokonaan tai osittain sahaamalla tai jyrsimällä aihion reunoista pituussuuntaisesti tietyn suuruiset kappaleet. Tuloksena saadaan eri dimensio- ja laatuksiteerit täyttäviä lautoja.

Diplomityössä tarkastellaan särmäystä sekä sen automatisointia. Työ jakautuu kahteen osaan: yleiseen ja soveltavaan.

Yleisessä osassa käsitellään aluksi sahalaitoksen toimintaa erittelemällä tyypilliset vähintään keski-suuren sahan osaprosessit sahatavaran valmistuksessa. Varsinaista sahausta käsitellään omana kokonaisuutenaan muita osaprosesseja yksityiskohtaisemmin, koska siihen kuuluva särmäys on työn keskeinen tarkastelukohte. Tässä yhteydessä tarkastellaan myös yleisesti erilaisia sahakoneita sekä sahalinjojen organisointimahdollisuuksia.

Tämän jälkeen tarkastellaan särmättävien sivulauta-aihioiden geometrisia ominaisuuksia sekä muotojakautumia. Lisäksi esitetään, miten optimaalisesta poikkeava aihion suuntaus ja leveysasetus vaikuttavat saantoon eri lautatyypeillä.

Seuraavaksi esitetään nykyistä lautojen lajittelukäytäntöä sekä erilaisia sahatavaran arvoon vaikuttavia laatuviikoja sekä esitetään yleisimmin käytössä olevat lautojen laatuksiluokat.

Työn yleinen osa jatkuu nykyisen särmäyskäytännön yleiskuvauksella. Särmäykselle esitetään



automatisointiperusteluja tarkastelemalla manuaalisen särmäyksen haittoja ja esittämällä, miten niitä voitaisiin automatisoinnilla poistaa.

Särmäysautomaatteja on toistaiseksi kehitetty muutamissa yrityksissä Suomessa ja Ruotsissa. Työssä esitetään kahden erilaisen särmäysautomaatin toiminnan pääpiirteet. Tarkastelussa keskitytään lähinnä kuvaamaan lauta-aihion mittausperiaatteita sekä saavutettuja tuloksia. Särmäysautomaattien tietojenkäsittelyjärjestelmiin ei sen sijaan puututa, vaan niiden tarkastelu rajoitetaan diplomityön soveltavaan osaan.

Työn soveltavassa osassa suunnitellaan pääpiirteissään eräs tietokoneohjattu särmäyssysteemi. Tarkastelun pääpaino on systeemin tietojenkäsittelyn suunnittelussa. Aluksi eritellään automaattiseen särmäyssysteemiin liittyvät tietojenkäsittelytehtävät kahteen osaan: särmäyksen optimointiin sekä toisaalta muihin tietojenkäsittelytehtäviin, joista keskeisesti tarkastellaan särmäysprosessin kokonaisohjausjärjestelmää sekä tietoliikenteen toteutusta hajautetussa tietojenkäsittelyjärjestelmässä.

Lopuksi tarkastellaan, miten hajautetun järjestelmän toimintaa voidaan varmistaa siten, että vikaantumistodennäköisyydet toisaalta koko systeemille ja toisaalta eri osasysteemeille saataisiin mahdollisimman pieniksi ja systeemin toiminta täten varmaksi.

Työssä esitetyt tietojenkäsittelytoiminnot on suunniteltu tiettyä sahalaitoksen osaprosessia varten, mutta periaatteiltaan ne ovat sovellettavissa mihin tahansa hajautettuun ohjausjärjestelmään.



## 8. LÄHDELUETTELO

- /1/ Abramson & Kuo: Computer-Communication Networks, Prentice-Hall, Inc., 1973.
- /2/ British Columbia Lumberman: Swedish Computer Improves Efficiency in Oregon Mill. Vol. 10, 1977.
- /3/ Bång, Börje: Tekniska och ekonomiska förhållanden vid kantning av bräder I-III, Papper och trä, nr. 5, 6-7 och 8, 1963.
- /4/ Dagens Industri: Ökad automatisering i sågverken höjer virkesvärdet 15 procent 31.1.1978, s. 18.
- /5/ Davies & Barber: Communication Networks for Computers, John Wiley & Sons, 1973.
- /6/ Förening Svenska Sågverksmän: Automatisk kantning, Erfarenheter från Limmared, Sågverken 8/1977, s. 749-753.
- /7/ Förening Svenska Sågverksmän: Utbyte vid automatkantverk, Sågverken 8/1977, s. 755-757.
- /8/ Kivimaa, Antti: Pelkkahakkurit, Puumies 11/1977, s. 253-255.
- /9/ Kosonen, Esa: Automatisoinnin periaatteita sahalaitoksen yksikköprosesseissa. Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, 1977.
- /10/ Lahti, Jaakko: Mittausten optimointi sahatavaran automaattisessa laadunmäärityksessä. Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, 1975.
- /11/ Liusvaara, Antero: Yleisesitelmä sahauksesta, Puumies 11/1977, s. 253-255.
- /12/ Meriläinen, Heikki: Särmäys ja syöttöpöydät, Puumies 11/1977, s. 261-262.
- /13/ Mertjärvi, Matti: Vannesahaus, Puumies 11/1977, s. 254-255.
- /15/ SAAB-tement AB: Hyvä tapa särmäystuoton lisäämiseksi, Tuote-esite, 1977.
- /16/ Saarelainen, Urho: Särmäyksen tietokoneohjaus, Puumies 11/1972, s. 315-316.
- /17/ Suomen Sahanomistajayhdistys: Sahatavaraopas 4, 1975.
- /18/ Suomen Sahateollisuusmiesten yhdistys: Vientisahatavaran lajitteluohjeet, Helsinki 1960.



- /19/ Svenska träforskningsinstitutet: Utbyte vid kantning  
i SAAB-tements kantautomat, Redogörelse  
nr. 761208/1804/1, 1976.
- /20/ Sågverken 9/1976: Checkande skuggan, kantautomaten, som  
kalkybrar med pris, s. 676-683.
- /21/ Tuomaala, Jorma: Pyörösahaus, Puumies 11/1977, s. 259-260.
- /22/ Vadnais, Chris: Raise Sideboard Recovery with Computerized  
Edger, Modern Sawmill Techniques, Vol. 6,  
1977.
- /23/ White, Vernon: First Edger-Optimizer Built in US Goes  
to a Small Log Mill, Forest Industries,  
Vol. 1, 1977, s. 51.